

Filière Systèmes industriels

Orientation Power & Control

Diplôme 2015

David Constantin

POWER TO GAS

Professeur

Prof. Christoph Ellert

Expert

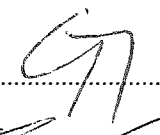
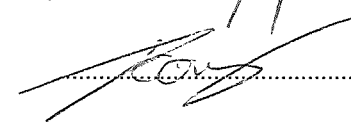
Prof.Dr.Andreas Züttel

Date de la remise du rapport

10.07.2015

<input checked="" type="checkbox"/> FSI <input type="checkbox"/> FTV	Année académique / Studienjahr 2014/15	No TD / Nr. DA pc/2015/31
Mandant / Auftraggeber <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution	Etudiant / Student David Constantin Professeur / Dozent Christoph Ellert	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) Prof. Dr. Andreas Züttel EPFL – LME Rue de l'industrie 17 1950 Sion	

Titre / Titel <p style="text-align: center;">Power-to-Gas</p>
Description / Beschreibung <p>La conversion en énergie chimique est la meilleure option connue aujourd'hui pour stocker l'énergie électrique à long terme, et plus particulièrement le surplus de production des énergies renouvelables (par exemple la production réalisée autour de midi par les centrales solaires).</p> <p>Les divers éléments du laboratoire photo-électro-chimique seront intégrés pour réaliser un démonstrateur du concept power-to-gas : électrolyseur, réacteur de méthanation, sécheur, spectromètre de masse, FTIR (Fourier Transforme infrarouge), système de circulation de gas et de liquide.</p> <p>Ce démonstrateur devra être mis en service, analysé et un concept devra être développé pour améliorer sa performance et son efficacité énergétique.</p>
Objectifs / Ziele <ul style="list-style-type: none"> — Mise en route et caractérisation quantitative du premier électrolyseur sériel et du méthaniseur pour déterminer leur point de fonctionnement idéal — Conception pour stockage d'hydrogène intermédiaire avec dimensionnement et estimation des coûts — Gestion par Labview des éléments de mesure et des actionneurs avec auto-surveillance, affichage d'alarme intelligent et utile — Documentation : checklist, mode d'emploi, schéma technique, et améliorations à proposer.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum Responsable de l'orientation Leiter der Vertiefungsrichtung:  ¹ Etudiant / Student : 	Délais / Termine Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags: 11.05.2015 Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts: 10.07.2015, 12:00 Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten: 26 – 28.08.2015 Défense orale / Mündliche Verfechtung: Semaine Woche 36
---	--

¹ Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.

Tables des matières

I. Power to gas	3
1.1 DESCRIPTION	3
1.2 DESCRIPTION TECHNIQUE DU SYSTÈME POWER TO GAS	4
1.3 BUTS DU TRAVAIL	6
II. Electrolyseur	6
2.1 PRINCIPE DE BASE	6
2.2 CONSTRUCTION DE L'ÉLECTROLYSEUR SÉRIEL	8
2.3 CARACTÉRISATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE	11
III. Méthaniseur	12
3.1 PRINCIPE DE BASE	12
3.2 CONSTRUCTION DU MÉTHANISEUR	13
3.3 CARACTÉRISATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE	15
IV. Aquisition et traitement des données	16
4.1 LES CAPTEURS	16
4.2 LES ACTIONNEURS	17
4.3 CALIBRATIONS	19
4.4 TRAITEMENT DES DONNÉES	31
4.5 BRANCHEMENTS ÉLECTRIQUES	34
V. Regulation des paramètres clefs	36
5.1 BUT DE LA RÉGULATION	36
5.2 RÉGULATION DU CHAUFFAGE	36
5.3 RÉGULATION DU DÉBIT	38
VI. résultats	39
6.1 ÉLECTROLYSEUR	39
6.2 MÉTHANISEUR	47
6.3 MISE EN SÉRIE DE L'ÉLECTROLYSEUR ET DU MÉTHANISEUR	53
VII. Améliorations	57
7.1 ELECTROLYSEUR	57
7.2 MÉTHANISEUR	58
VIII. Conclusion	58
IX. Reference	59
X. Annexes	59
XI. Signatures	60

I. POWER TO GAS

1.1 Description

De plus en plus, nous avons recours aux sources d'énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien. Ceux-ci ont le désavantage d'être dépendant de la météo (vent, soleil, etc.). Pour éviter de surcharger le réseau électrique lors des pics de production, il faut trouver un moyen de stocker l'énergie lorsque sa demande sur le réseau est faible et l'offre est forte.

La conversion d'énergie sous forme électrique en gaz (voir figure 1) a pour but de stocker la surproduction d'électricité due aux nouvelles énergies renouvelables. Les gaz produits peuvent être valorisés sur des sites industriels ou injectés dans les réseaux existants de gaz naturel.

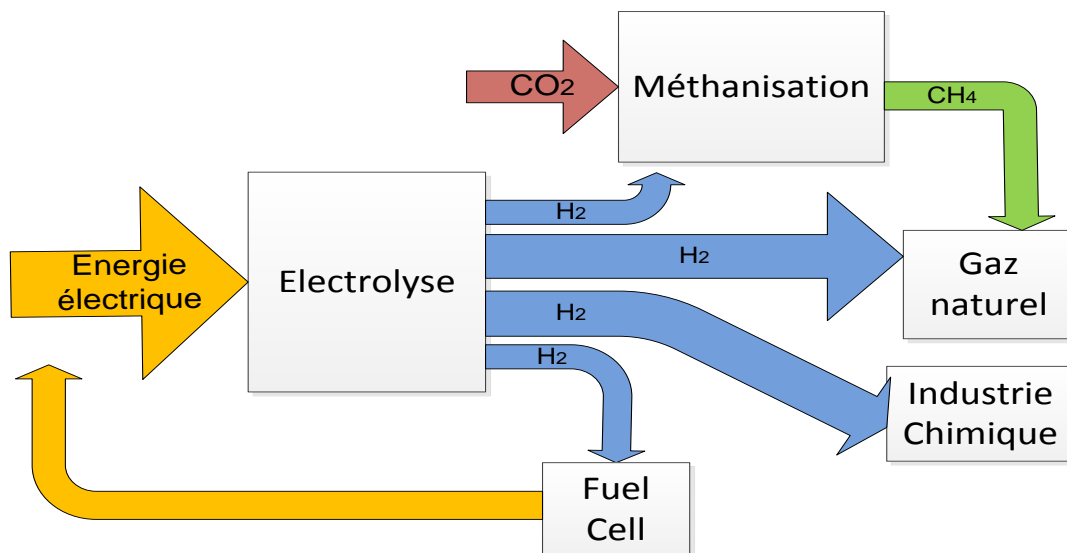


Figure 1: Système Power to gas et ses dérivées

L'électricité est tout d'abord transformée en hydrogène par l'électrolyse de l'eau.

Cet hydrogène produit peut être :

- Consommé par l'industrie chimique.
- Retransformé en électricité (pile à combustible)
- Transformé en gaz naturel (CH_4)
- Injecté dans le réseau de gaz naturel à hauteur de 4%

Pour transformer l'hydrogène en gaz naturel il faut utiliser le procédé de méthanisation.

1.2 Description technique du système power to gas

Durant ce travail, 4 parties distinctes ont été mises en place, étudiées et caractérisées (voir figure 2).

1.2.1 *L'électrolyseur*

L'électrolyseur permet de séparer les molécules de l'eau (H_2O) en Hydrogène (H_2) et Oxygène (O_2) grâce à un courant électrique.

1.2.2 *Le méthaniseur*

Le méthaniseur permet de combiner les molécules de dioxyde de carbone (CO_2) et les molécules d'Hydrogène (H_2) pour former des molécules de Méthane (CH_4).

1.2.3 *La commande automatisée*

La commande automatisée permet de commander les différentes tensions appliquées, les différents débits de gaz employés, la température des chauffages. Mais elle permet aussi d'acquérir les données des différents capteurs et les stocker dans une base de données.

1.2.4 *La mesure des gaz*

La mesure de gaz permet d'identifier et quantifier les gaz sortant de l'électrolyseur et du méthaniseur.

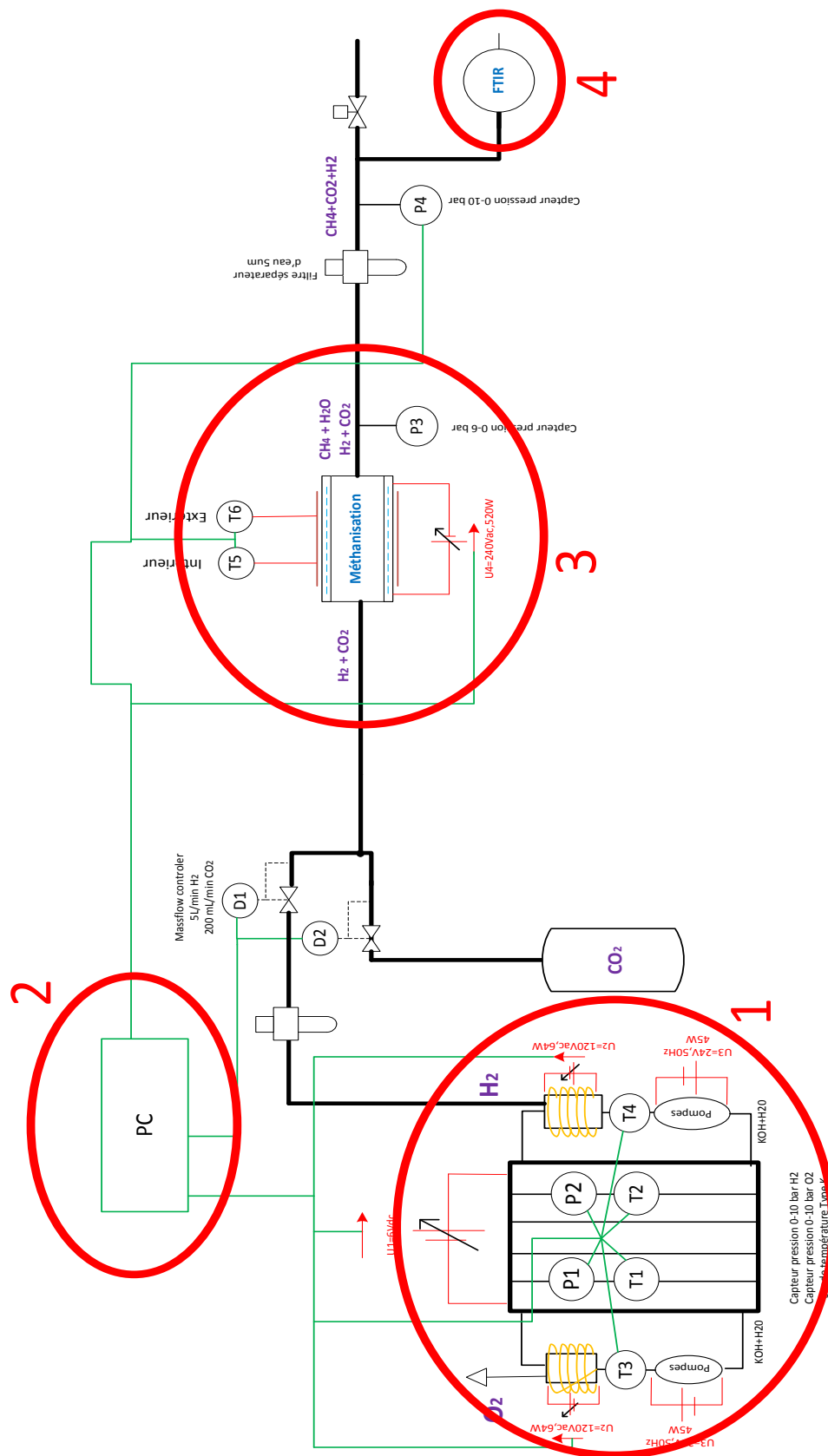


Figure 2: Différentes parties technique du système installé au laboratoire

1.3 Buts du travail

Le but principal du travail est de mettre en place un système power to gaz entier afin de montrer et expliquer les étapes principales. Ceci exige de :

- Construire et mettre en route l'électrolyseur tri-cellule.
- Mettre en place et faire fonctionner le méthaniseur
- Gérer des éléments de mesure et des actionneurs avec un automate afin de faciliter la prise de mesure.
- Caractériser quantitativement l'électrolyseur et le méthaniseur et déterminer leur meilleur point de fonctionnement.
- Préparer une documentation du système et un mode d'emploi des appareils.

II. L'ELECTROLYSEUR

2.1 Principe de base

L'électrolyse de l'eau est une réaction qui décompose l'eau en hydrogène et en oxygène (voir figure 3). Elle est rendue possible par le passage d'un courant continu entre deux électrodes immergées dans un électrolyte. Il existe plusieurs type d'électrolyseur mais celui qui est décrit et construit est l'électrolyseur alcalin bipolaire. L'électrolyse alcaline est la technologie la plus répandue pour la production d'hydrogène. Elle est connue depuis de nombreuses années et bénéficie donc d'une grande maturité industrielle [Réf 1]. Dans un électrolyseur alcalin, l'électrolyte se compose d'hydroxyde de potassium (KOH) à environ 30% et d'eau. La conduction est alors assurée par les ions d'hydroxyde (OH^-) et de potassium (K^+).

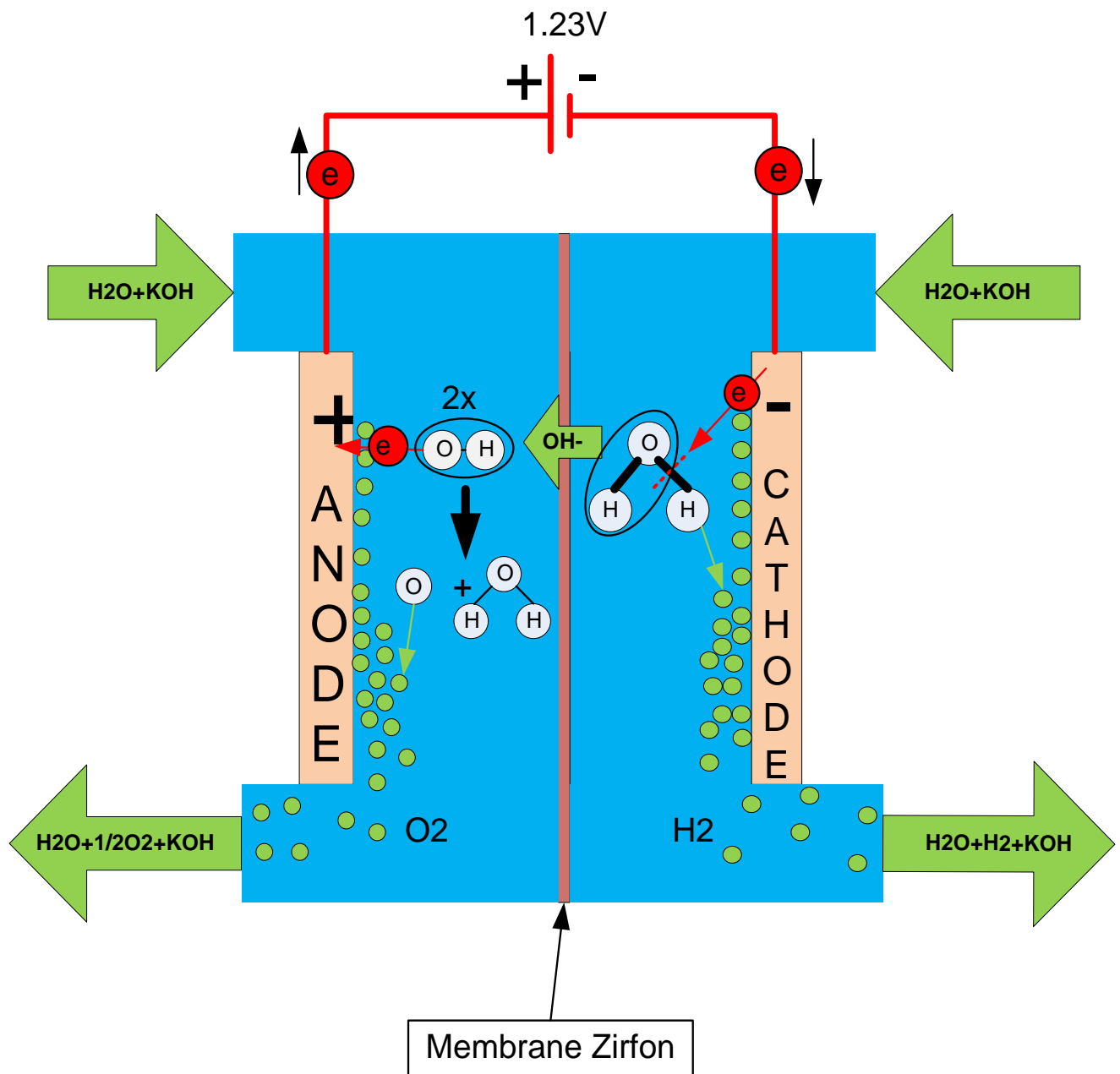


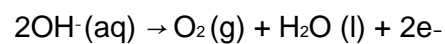
Figure 3 : Principe de l'électrolyse alcaline

Les équations stœchiométriques suivantes permettent de comprendre la réaction de l'électrolyse [Réf 1] :

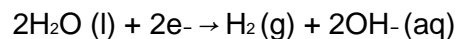
- Réaction de somme :



- Réaction du côté de la tension positive (anode) :



- Réaction du côté de la tension négative (cathode) :



Pour que la réaction se produise, il faut au minimum une tension de 1.23Volt entre les bornes des électrodes. Habituellement on utilise une tension de 2 Volts par cellule d'électrolyse.

Les deux chemins de fluide sont séparés par une membrane perforée (membrane en polyphénylène sulphide appelée Zirfon [Réf 2]). La membrane permet de laisser passer les ions OH⁻ pour la réaction mais empêche le passage de l'hydrogène et oxygène dans l'autre fluide. Les électrodes sont placées aux extrémités. L'anode est l'électrode chargée positivement (gauche). Elle permet de créer par séparation les bulles de gaz O₂. La cathode est l'électrode chargée négativement (droite). Elle permet de créer par séparation les bulles de gaz H₂.

Pour augmenter le débit de gaz il y a trois solutions possibles :

1. Augmenter la surface des électrodes de l'électrolyseur
2. Mise en parallèle de plusieurs électrolyseurs
3. Mise en série de plusieurs étages d'électrolyse

La troisième solution a été choisie car elle permet d'économiser de la place et de la matière. Sa conception est basée sur la construction de l'électrolyseur mono-cellule construit lors du Pga 2014 [Réf 3].

2.2 Construction de l'électrolyseur sériel

L'électrolyseur série construit comporte 5 pièces différentes qui sont décrites plus précisément dans le rapport de semestre Power to gas [Réf 4] :

1. Le joint guide fluide (vert)
2. La membrane séparatrice en Zirfon (bleu)
3. L'électrode nickel (gris)
4. Le joint d'isolation (rouge)
5. La mâchoire (gris extrémités)

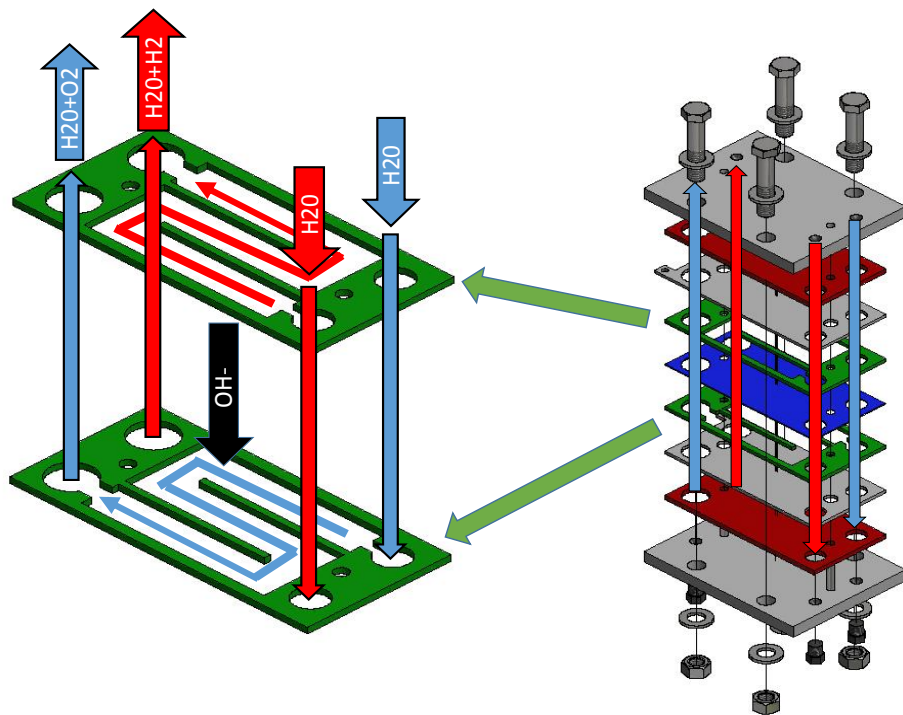


Figure 4: Empilement des différentes pièces dans l'électrolyseur série

Pour mettre en série plusieurs étages il suffit d'empiler les pièces dans un ordre et un sens donné. La figure 5 illustre la mise en série de 3 cellules d'électrolyse.

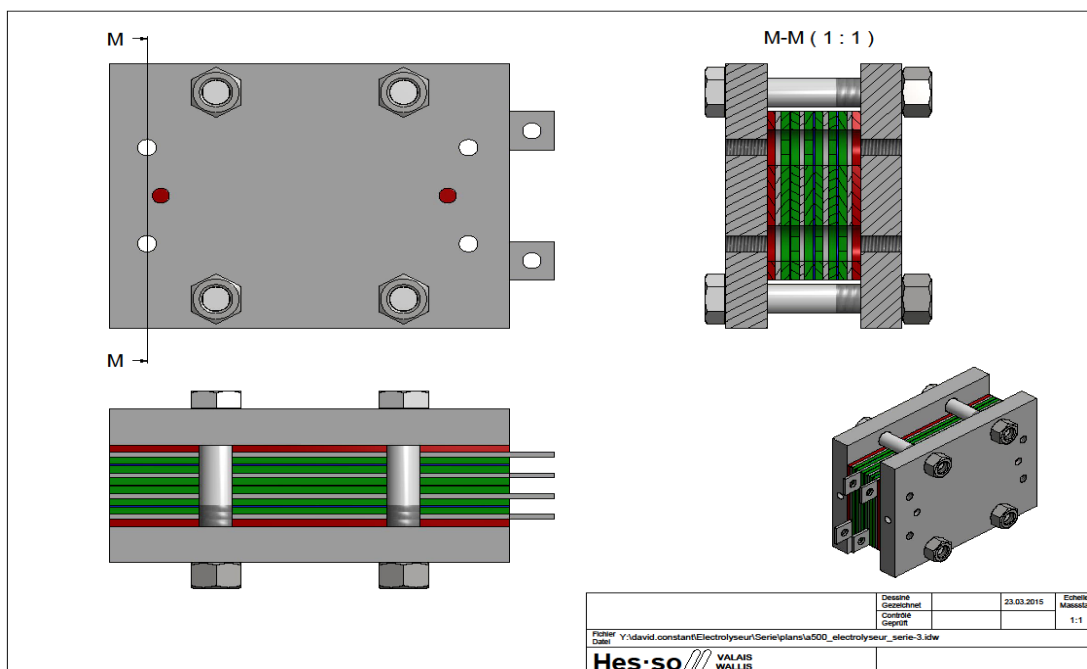


Figure 5: Empilement des pièces afin d'obtenir un électrolyseur tri-cellule. Ce dessin représente l'électrolyseur installé au laboratoire

Il est important de trouver des matériaux résistants à l'hydroxyde de potassium (KOH).
Les pièces sont usinées avec les matériaux suivants :

- Electrode : Nickel
- Membrane : Zirfon
- Joint isolants : EPDM (élastomère)
- Joint guide flux : EPDM (élastomère)
- Mâchoire : Acier Inox

Pour le branchement électrique il suffit de brancher la tension positive sur une extrémité de l'électrolyseur et la négative sur l'autre comme indiquée sur la figure 6.

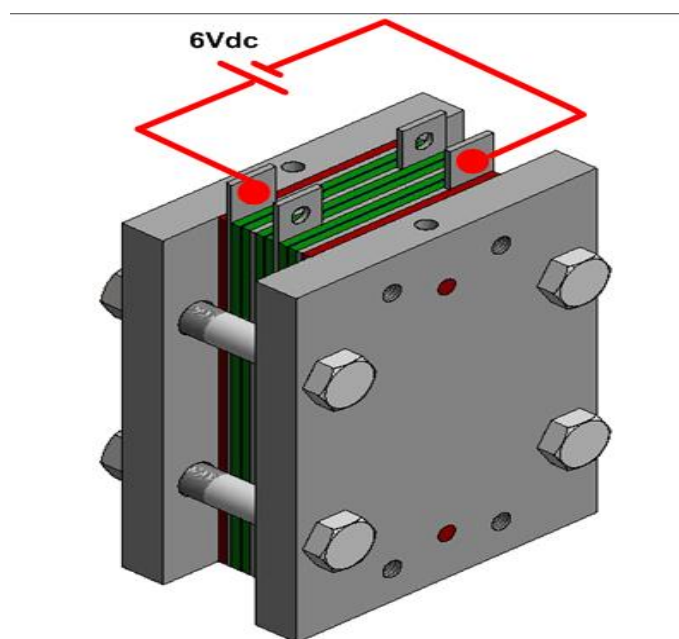


Figure 6: Branchement électrique de l'électrolyseur Tri-cellule. Avec une tension de 2Volts par cellule.

Le sens du branchement électrique va déterminer le côté de la plaque en nickel qui produit l'hydrogène et celle qui produit l'oxygène. La tension va automatiquement se distribuer équitablement sur chaque cellule. Par exemple: Si on met 6 volts aux bornes de l'électrolyseur avec 3 cellules en série chaque cellules verra 2 volts entre ces bornes.

L'électrolyseur est relié à deux dégazeurs (figure 7) qui permettent de séparer les gaz du liquide. La tuyauterie est en inox et les raccords sont de la marque swagelock (6mm gas1/8).

K-K (1 : 2)

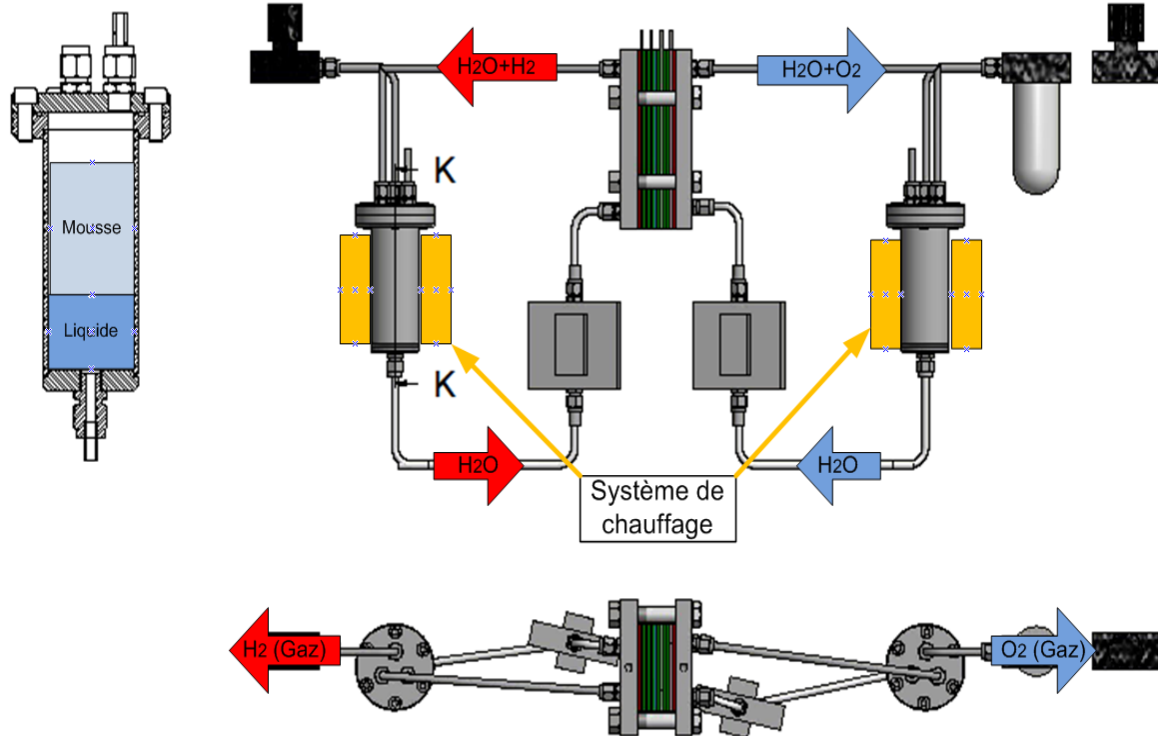


Figure 7: Coupe de l'ensemble du système de l'électrolyseur avec les pompes qui crée le flux d'évacuation des gaz et les dégazeurs qui permettent de séparer le gaz du liquide électrolytique.

Les dégazeurs sont munis de cordons de chauffage de 64W (voir rectangle orange dans la figure 7) qui permettent de choisir la température à l'intérieur de l'électrolyseur. Le réglage du chauffage est expliqué au chapitre 5.2

Les paramètres importants pour l'optimisation de l'électrolyseur sont :

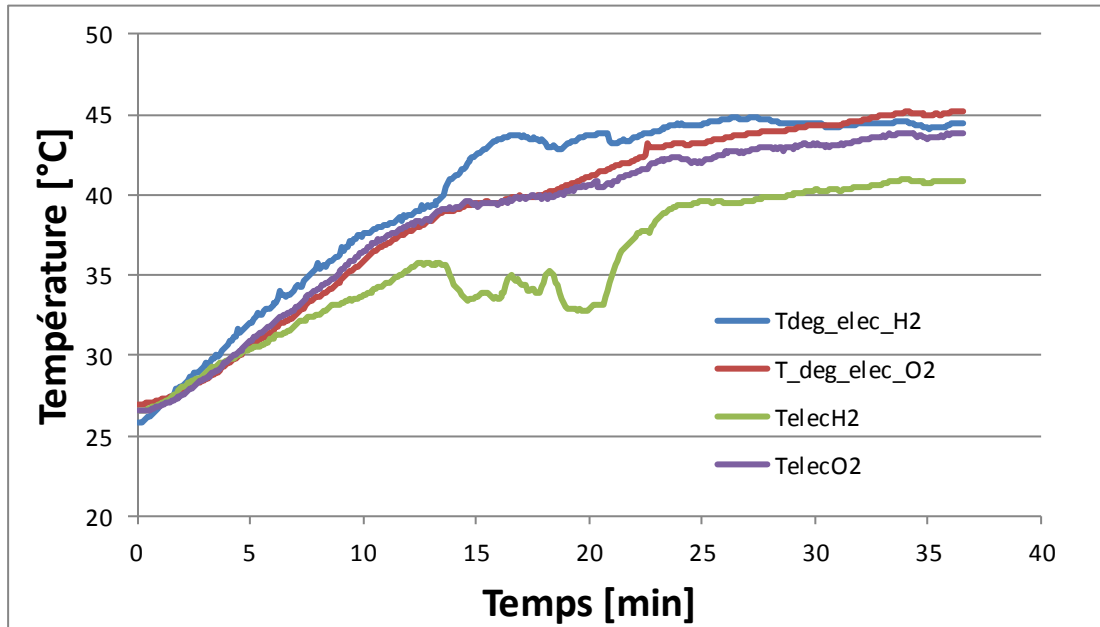
- La température
- La pression
- Le courant injecté
- La tension aux bornes
- Le Ph de l'électrolyte
- Le pourcentage de KOH dans l'électrolyte

Il est donc important d'installer toutes sortes de capteurs (listés en chapitre 4.1) qui permettent de mesurer ces paramètres.

2.3 Caractérisation du comportement thermique

La première mesure effectuée est l'essai du chauffage avec les cordons de chauffe de l'électrolyseur (graphique 1). Il faut savoir le temps de chauffe pour arriver à la température désirée. On peut remarquer que la température dans les dégazeurs (T_{deg_elec}) est plus haute

que dans l'électrolyseur (Telec) car le cordon de chauffage se trouve du côté des dégazeurs. Ici on peut remarquer que la pompe du côté hydrogène a cessé de fonctionner car la température dans le dégazeur a grimpé tandis que dans l'électrolyseur elle s'est stabilisée. Cela pourrait être un signal d'alarme pour savoir si la pompe fonctionne ou non. Il faut environ 30 minutes pour passer de 20°C à 45°C.



Graphique 1: Chauffage des dégazeurs et observation de la montée de la température. Il y a un disfonctionnement d'une pompe à partir de 5 minutes Puissance chauffage = 64W

III. MÉTHANISEUR

3.1 Principe de base

Le méthaniseur fonctionne selon la réaction de Sabatier en [Réf 5] :



On injecte une molécule de dioxyde de carbone (CO₂) et 4 molécules d'hydrogène (H₂) puis en sortie on retrouve une molécule de méthane (CH₄) et 2 molécules d'eau (H₂O) sous forme de vapeur. Le rapport entre le CO₂ et le H₂ à injecter est de 1/5 CO₂ et 4/5 H₂. Pour engager la réaction, il faut chauffer le méthaniseur entre 200°C et 250°C [Réf 6] puis une fois que la réaction commence elle dégage de l'énergie et donc le chauffage peut être coupé.

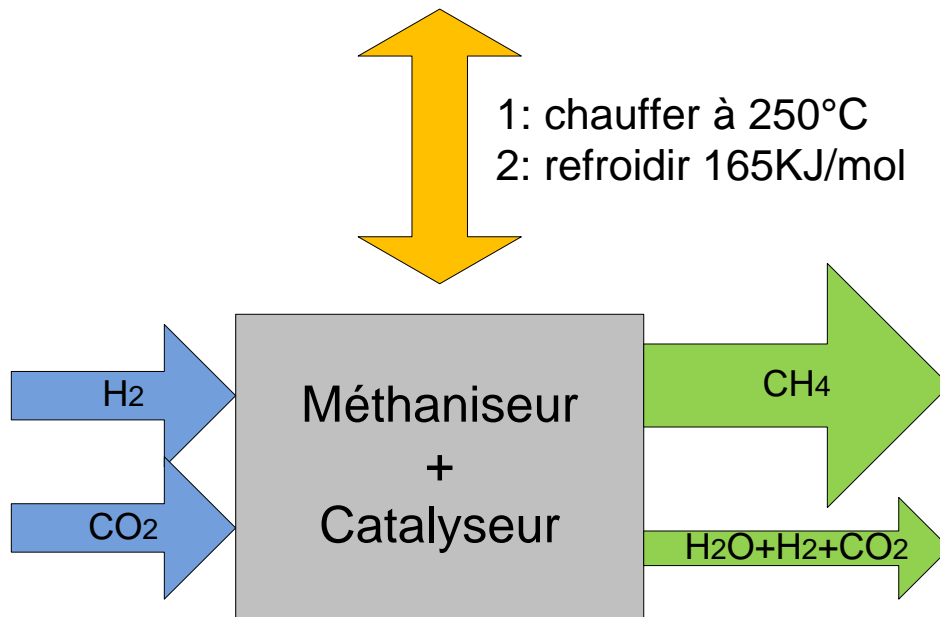


Figure 8 : Principe de base du méthaniseur avec en entrée du CO_2 et H_2 et en sortie du CH_4 et des gaz non voulus (H_2O) et non transformés (H_2+CO_2)

3.2 Construction du méthaniseur

Pour chauffer le méthaniseur on utilise un cordon de chauffage qui délivre 520Watts à pleine puissance. Il est placé tout autour du tube (bobine jaune de la figure 9). Une nappe de fibre réfractaire et du papier d'aluminium permettent l'isolation entre le cordon et l'air ambiant. Pour refroidir le méthaniseur on injecte de l'air frais entre le compartiment de réaction et la partie extérieur où se trouve le cordon de chauffe. Le catalyseur qui permet de favoriser la réaction se compose de Nickel [Réf 8]. Dans de nombreuses recherches, on utilise du ruthénium plus efficace que le nickel. Le méthaniseur est rempli à moitié de catalyseur (rond orange de la figure 9). Il est expliqué plus en détail en [Réf 11].

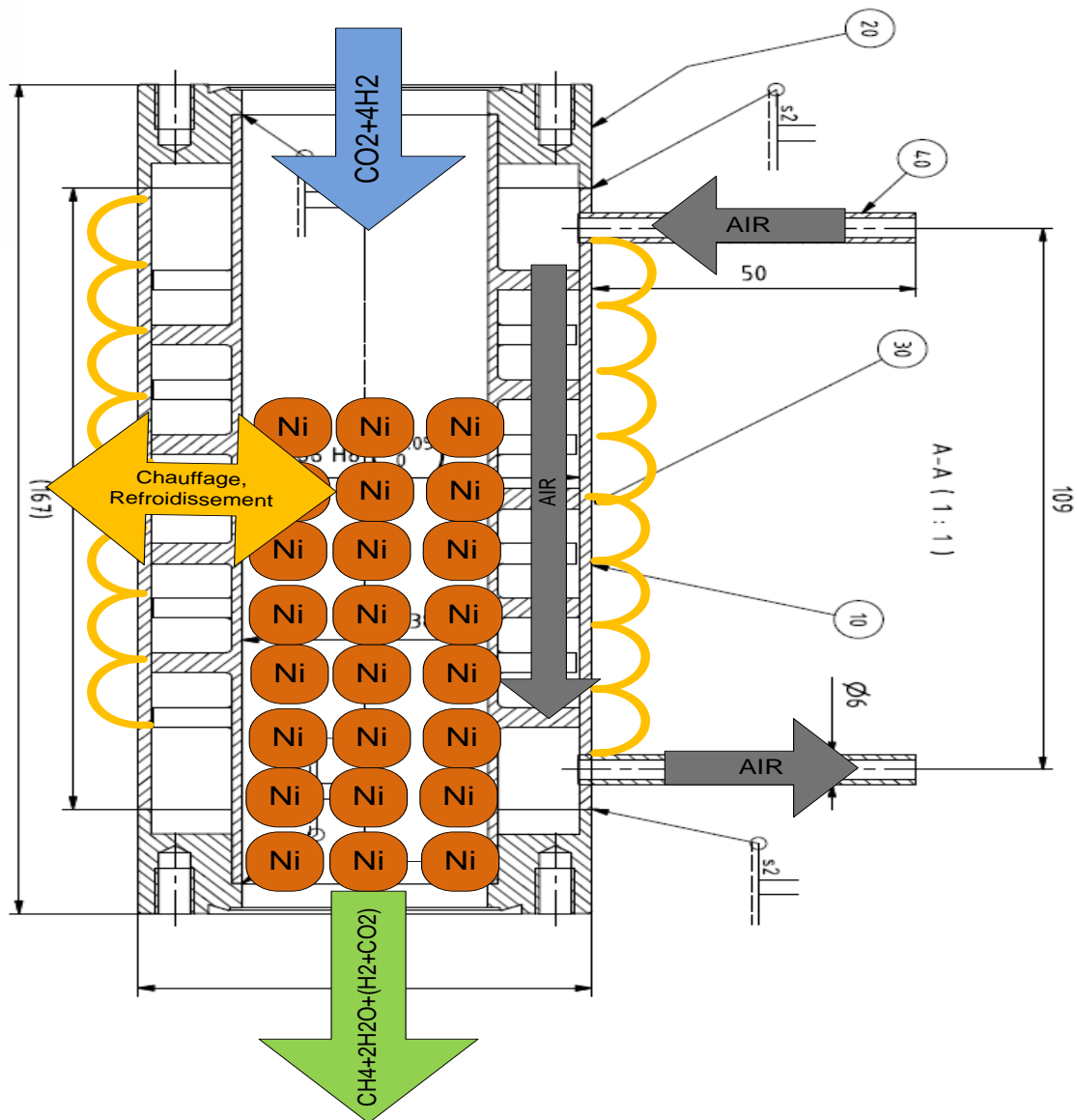


Figure 9: Coupe du méthaniseur avec en entrée les gaz de CO₂ et d'hydrogène qui passent à travers le catalyseur (Ni) puis qui ressortent transformés en CH₄, H₂O et présence de résidus de H₂ et CO₂. Le chauffage (en jaune) permet d'atteindre la température de réaction et est coupé lorsque la réaction s'active. Un système de refroidissement (air) permet de refroidir l'intérieur du méthaniseur

Les paramètres importants pour l'optimisation du méthaniseur sont :

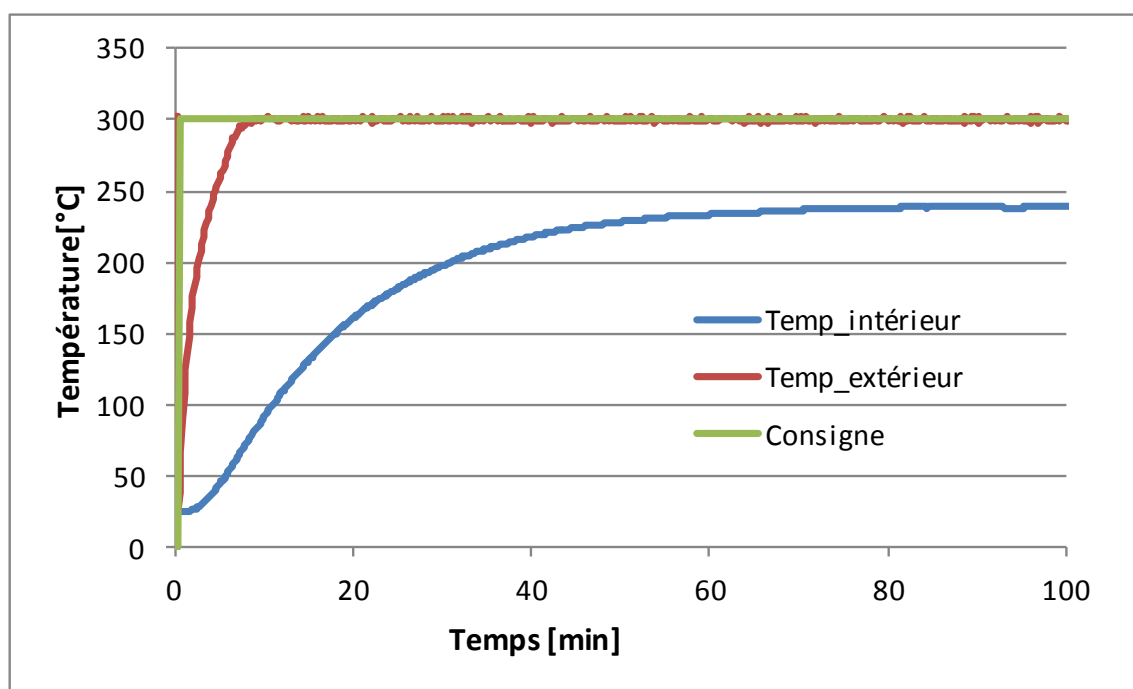
- La température
- La pression
- Les débits de gaz

Il est donc important d'installer toutes sortes de capteurs (listés en chapitre 4.1) qui permettent de mesurer ces paramètres.

3.3 Caractérisation du comportement thermique

La première mesure effectuée est l'essai du chauffage du méthaniseur. Il faut savoir le temps de chauffe pour arriver à la température désirée.

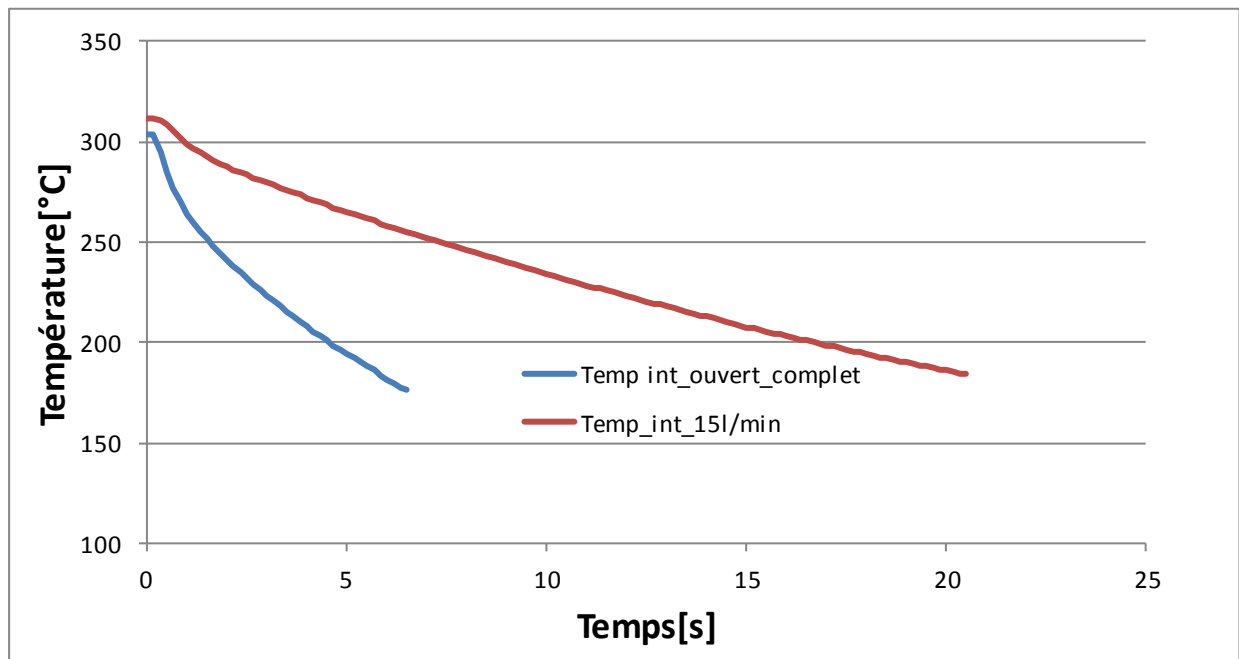
Le système ayant une très grande inertie, il a été choisi de réguler la température du cordon de chauffe (temp_extérieur) et non la température à l'intérieur du méthaniseur. Le graphique 2 montre qu'il faut que la température extérieure soit 55°C plus chaud que la température désirée à l'intérieur. Il faut aussi environ 1 heure pour que le méthaniseur atteigne une consigne de 245°C, température optimale pour la réaction : voir chapitre 6.2.1



Graphique 2 : augmentation de la température dans le méthaniseur avec une consigne de 245 intérieur.

Pour la sécurité, il est important de savoir le temps que met le méthaniseur à refroidir. Pour cela on utilise la bombonne d'air comprimé pour augmenter la vitesse de refroidissement. Deux essais ont été effectués. Le premier avec un débit d'air de 15L/min mesuré avec un débitmètre et un deuxième essai avec les vannes complètement ouvertes (graphique 3).

Il faut 6 minutes pour refroidir de 300°C à 180°C avec les vannes complètement ouvertes contre 4 fois plus de temps lorsque on a un débit de 15l/min.



Graphique 3: Refroidissement du méthaneur avec 15L/min et avec les vannes complètement ouvertes.

IV. AQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Plusieurs paramètres gèrent le bon fonctionnement du système power to gaz. Pour cette raison le méthaneur et l'électrolyseur sont équipés de toutes sortes de capteurs listés (tableau 1)

4.1 Les capteurs

Les 3 variables importantes à mesurer sont :

- Les débits : mesurés avec des débitmètres (Massflow)
- La température : mesurée avec des sondes de température type K.
- La pression : mesurée avec des capteurs de pression.

Le tableau n°1 résume les capteurs présents dans le système. Leur place peut être observée dans la figure 10.

n°	Fonction	Plage théorique	Plage utilisée	Place
1	température du coté O2 de l'électrolyseur	0-800°C	0-45°C	T1
2	température du coté H2 de l'électrolyseur	0-800°C	0-45°C	T2
3	température du coté O2 du dégazeur de l'électrolyseur	0-800°C	0-45°C	T3
4	température du coté H2 du dégazeur de l'électrolyseur	0-800°C	0-45°C	T4
5	température à l'intérieur du méthaniseur	0-800°C	0-250°C	T5
6	température à l'extérieur du méthaniseur	0-800°C	0-320°C	T6
7	Debitmètre H2 bombonne	0-20L/min	0-1.5L/min	D1
8	Débitmètre CO2 bombonne	0-5L/min	0-1L/min	D2
9	Débitmètre H2 électrolyseur	0-500mL/min	0-300mL/min	D1
10	Débitmètre CO2 bombonne	0-200mL/min	0-100mL/min	D2
11	pression méth 20°C	0-10bars	0-2bars	P4
12	pression méth. 250°C	0-6bars	0-2bars	P3
13	pression coté Oxygène dans l'électrolyseur	0-16bars	0-3bars	P1
14	pression coté Hydrogène dans l'électrolyseur	0-16bars	0-3bars	P2
16	Tension électrolyseur	0-35V	0-8V	alim
17	Courant électrolyseur	0-24A	0-24A	alim

Tableau 1 : Capteurs présents dans le système power to gas

4.2 Les actionneurs

Les 4 variables importantes à contrôler sont :

- Les débits : contrôlés avec des débitmètres (Massflow) qui font aussi office de vanne électromécanique
- La tension : contrôlée avec une alimentation programmable
- Le courant : contrôlé avec une alimentation programmable
- Le chauffage : contrôlé en actionnant ou non un relai 230V

Le tableau n°2 résume les actionneurs présents dans le système. Leur place peut être observée dans la figure 10.

n°	Fonction	Plage théorique	Plage utilisée	Place
1	Debitmètre H2 bombonne	20L/min	0-1.5L/min	D1
2	Débitmètre CO2 bombonne	5L/min	0-1L/min	D2
3	Débitmètre H2 électrolyseur	500mL/min	0-300mL/min	D1
4	Débitmètre CO2 bombonne	200mL/min	0-100mL/min	D2
5	Tension électrolyseur	35V	0-8V	Alim
6	Courant électrolyseur	24A	0-24A	Alim
7	On/Off relai méthaniseur	0-30V	0-10V	Boitier
8	On/Off relai électrolyseur	0-30V	0-10V	Boitier

Tableau 2: Actionneurs dans le système power to gas

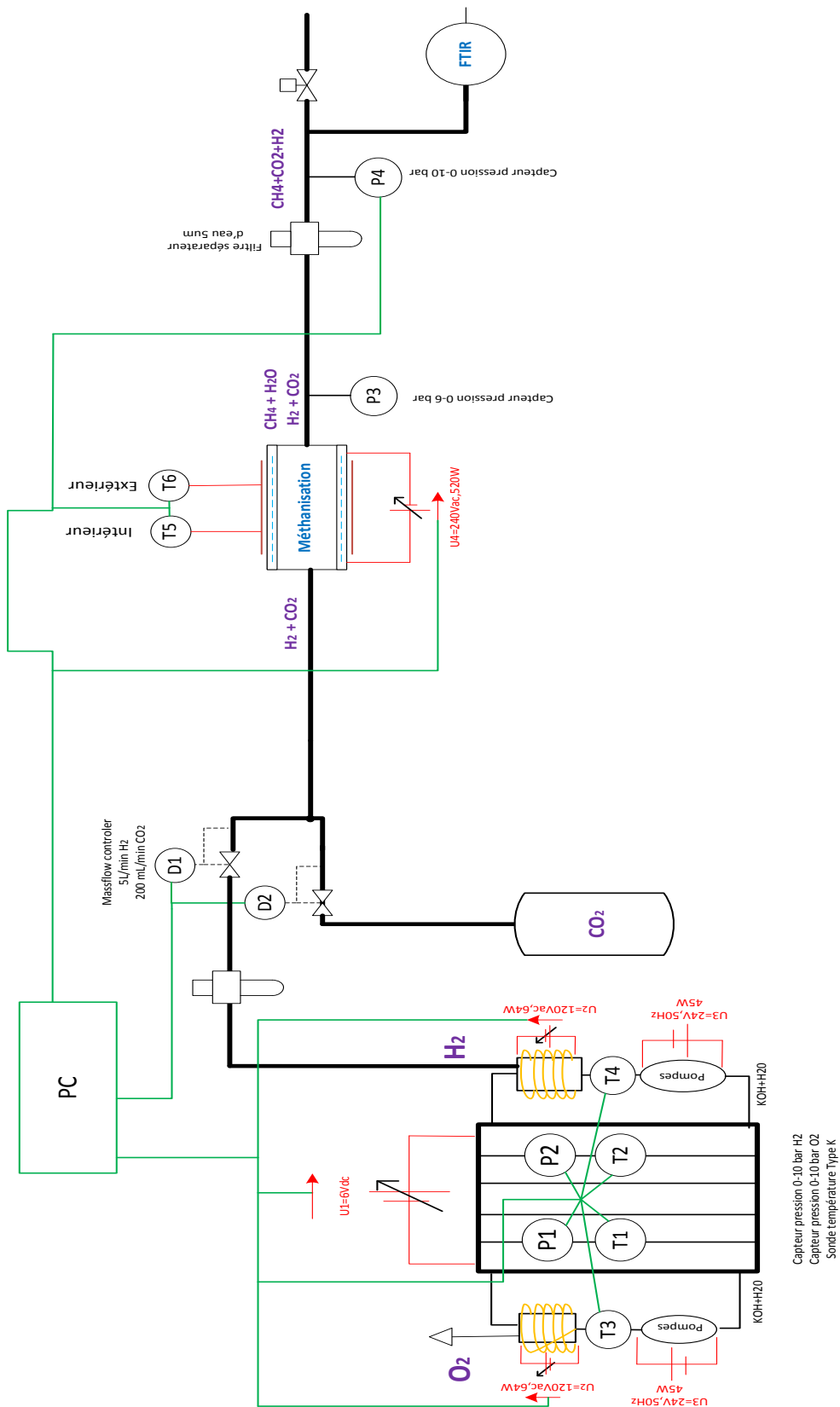


Figure 10: Schéma de principe du système power to gas avec l'électrolyseur le méthaniseur et la mesure de gaz FTIR.

4.3 Calibrations

Une bonne calibration permet d'avoir les résultats les plus exacts. Les capteurs sont reliés à l'automate et délivrent une tension en fonction des variables physique qui lui sont données. Le but de la calibration est de comparer les valeurs de tension lues sur l'automate et les valeurs physiques réelles obtenues avec certains instruments de mesures. On peut ensuite tracer les courbes de calibration et en retirer son équation. Celle-ci permet de convertir la tension en unité physique. Les différents procédés suivants expliquent la méthode de calibration de tous les instruments.

4.3.1 Capteur de température

Pour calibrer les capteurs de température il faut comparer la valeur de tension fournie à l'automate avec un thermomètre à mercure comme sur la figure 11.

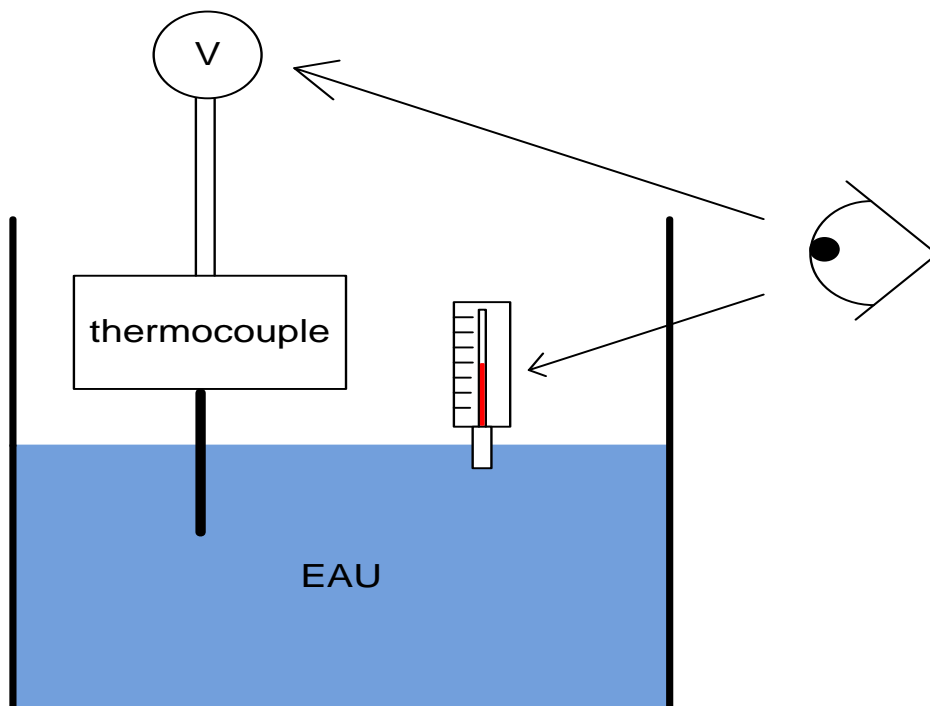
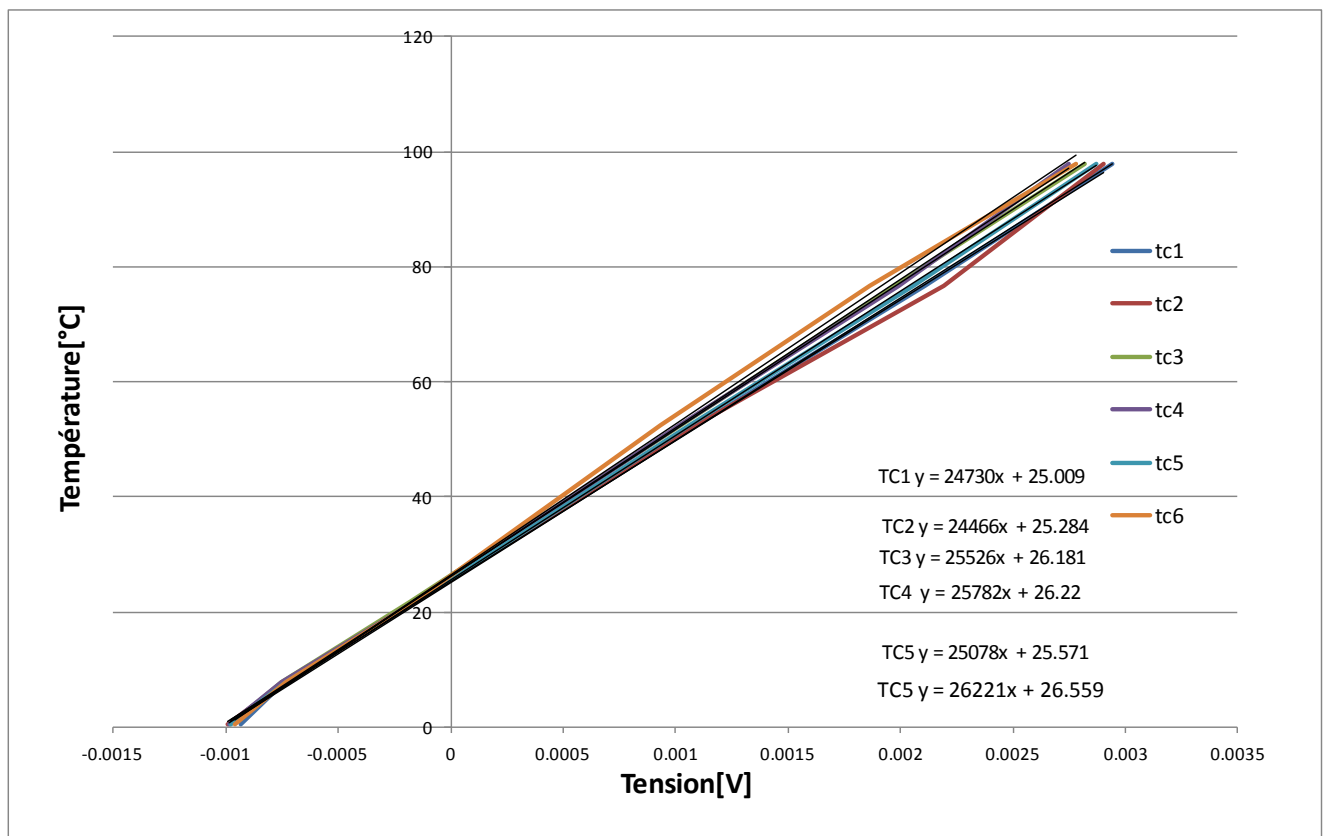


Figure 11: Protocole pour la calibration des capteurs de température.



Graphique 4: courbes de calibration des capteurs de température permettant de transformer une valeur de tension en valeur de température.

Les courbes de températures en fonction de la tension et leurs équations permettent de transformer le signal de tension vu par l'automate en signal de température.

4.3.2 Capteur de pression

Pour calibrer les capteurs de pression il faut comparer la valeur de tension fournie à l'automate avec la pression de l'air comprimé. Pour cela une soupape de décharge (figure 12) est installée entre la bouteille d'air comprimé et le capteur de pression. Une soupape de décharge permet de régler la pression que le capteur voit. La soupape comporte un manomètre qui permet de lire la valeur de la pression sur le capteur.

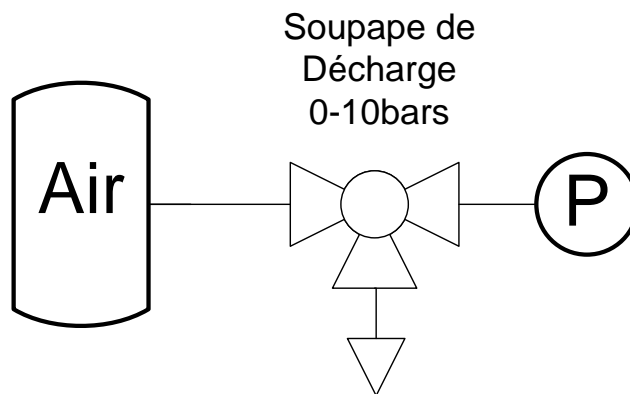
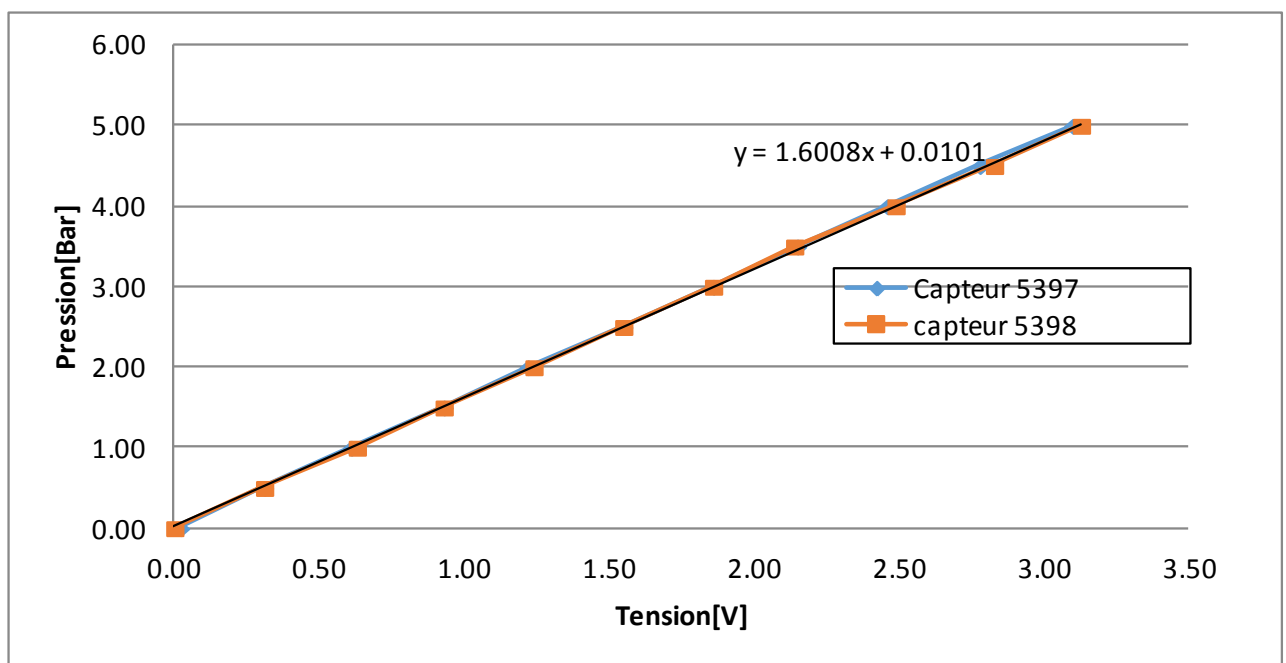


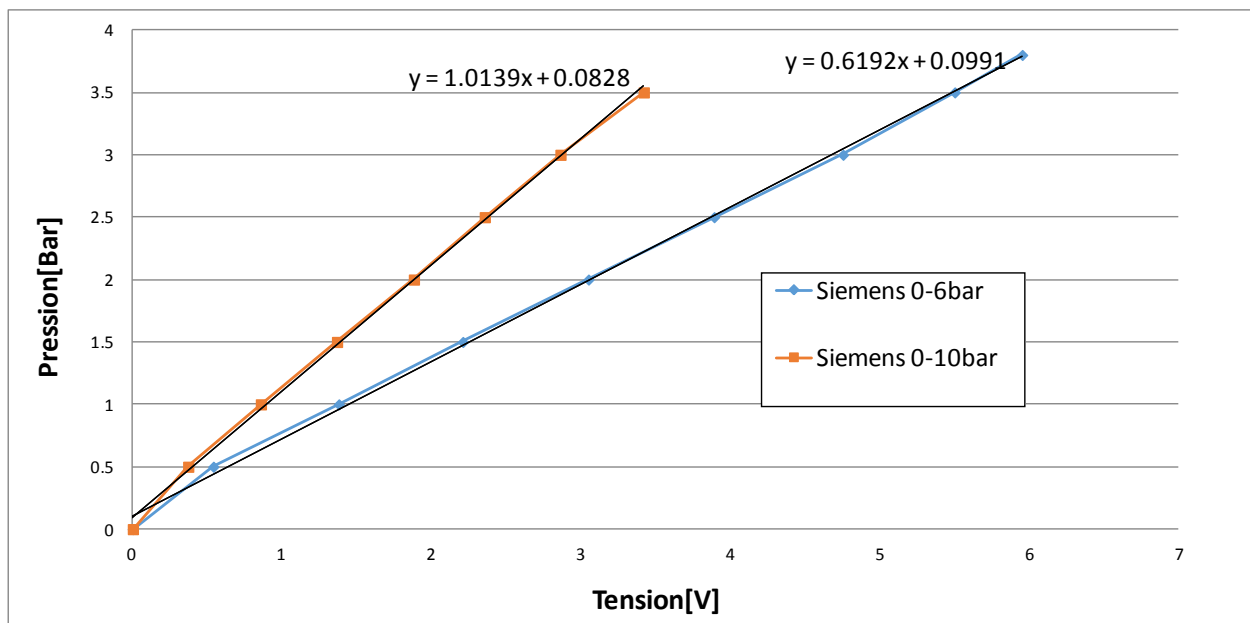
Figure 12 : Protocole pour la calibration de la pression

Les courbes de pression en fonction de la tension et leurs équations permettent de transformer le signal de tension vu par l'automate en signal de pression. Sur le graphique 5 se trouve les courbes de calibration des capteurs de pression Baumer. Vu la correspondance entre les deux courbes, les deux capteurs seront calibrés avec la même équation.



Graphique 5 : courbes de calibration des capteurs de pression de la marque Baumer permettant de transformer une valeur de tension en valeur physique.

Il faut procéder de même pour les capteurs de pression Siemens. Les courbes de calibration sont tout à fait différentes pour cause, ils ont des plages de pression différentes.



Graphique 6 : courbes de calibration des capteurs de pression de la marque Siemens permettant de transformer une valeur de tension en valeur physique.

4.3.3 Débitmètre (Massflow controller)

Pour calibrer les débitmètres (Massflow) il faut comparer la valeur de tension fournie à l'automate avec le débit d'un gaz. Si on calibre un débitmètre avec un certain gaz et que l'on veut mesurer un autre il faut faire attention de ne pas oublier le facteur de correction (tableau 3). Pour notre application ils seront approximés. Exemple : le coefficient de correction de l'hydrogène pour une vanne calibrée avec de l'argon (N2) sera approximée à 1. Il faut aussi faire attention à utiliser les bon débitmètres à bille avec les bons gaz.

Les unités écrites sur les débitmètres sont :

- SLPM (standard Liter per minute) qui correspond à des L/min.
- SCCM (standard centimeter cube per minute) qui correspond à des ml/min.

Gaz correction	Coeff N2	Coeff O2
CO2	0.700	0.704
Air	1.000	1.007
H2	1.010	1.017
O2	0.993	1.007
argon	1.390	1.399
Ch4	0.720	0.725

Tableau 3: Facteur de correction pour les débitmètres. Des valeurs seront approximées exemple l'hydrogène coeff N2 =1.

Le premier Massflow à être calibré est celui avec une plage de 0-20 L/min. Les courbes de débit en fonction de la tension et leurs équations permettent de transformer le signal de tension vu par l'automate en signal de débit. Vu que le débitmètre à bille est calibré avec de l'air, il faut faire passer de l'air dans le débitmètre électronique et dans celui à bille (Figure 13). Aucun facteur de correction n'a besoin d'être utilisé car le facteur de l'hydrogène (gaz utilisé en fonctionnement) est très proche de celui de l'air. Il faut ensuite comparer la valeur lue sur le débitmètre à bille avec la valeur de la tension que délivre le débitmètre électronique.

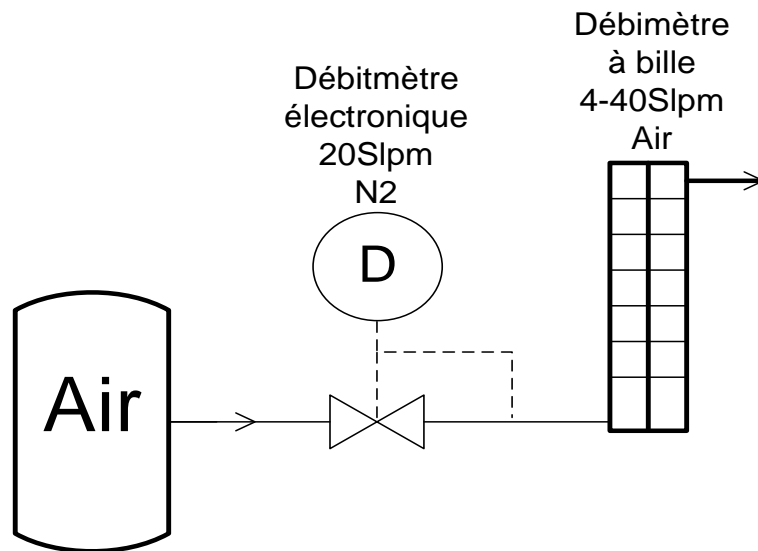
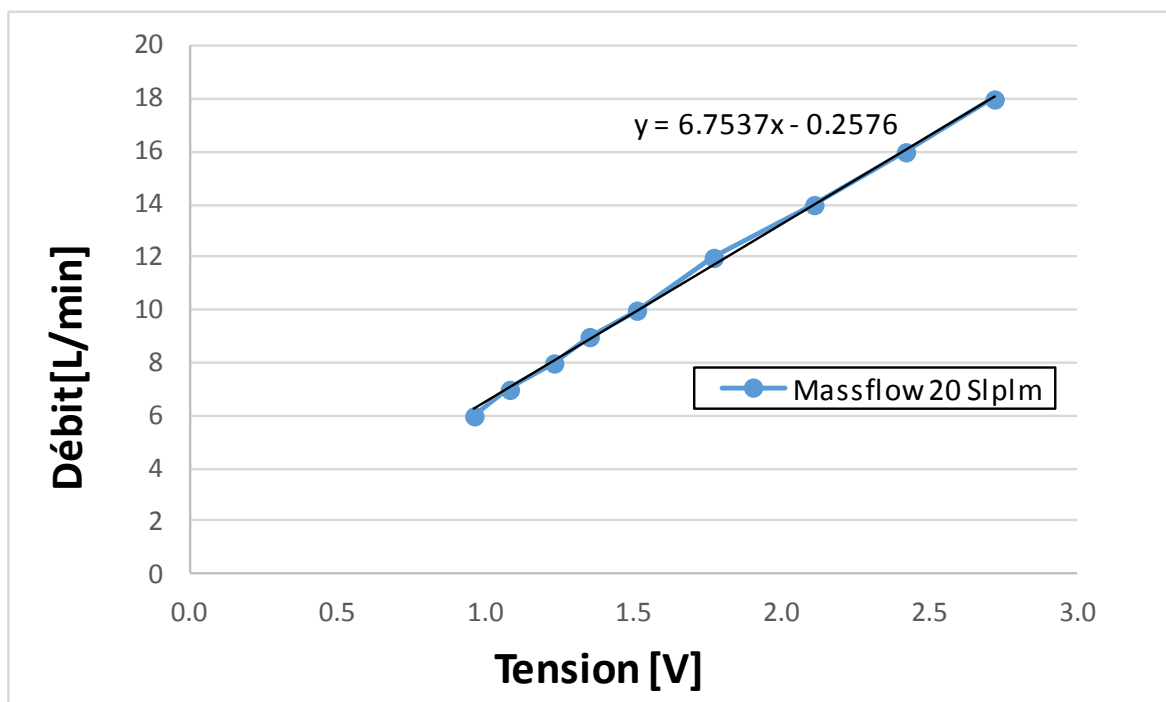


Figure 13 : Protocole pour la calibration du débitmètre 20Slpm



Graphique 7: courbe de calibration du débitmètre 20SLpm permettant de transformer une valeur de tension en valeur physique.

Ensuite, pour calibrer le débitmètre électronique (Massflow) 5SLPM il faut mettre en série le débitmètre 20SLPM et le 5SLPM car on ne dispose pas de débitmètre à bille dans la plage 0-5SLPM .

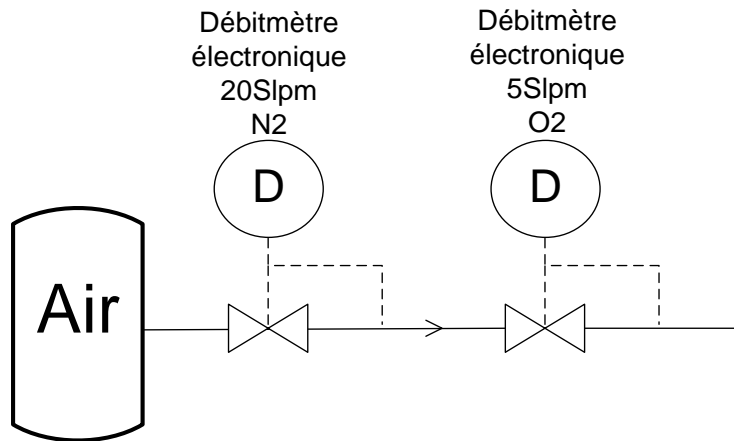
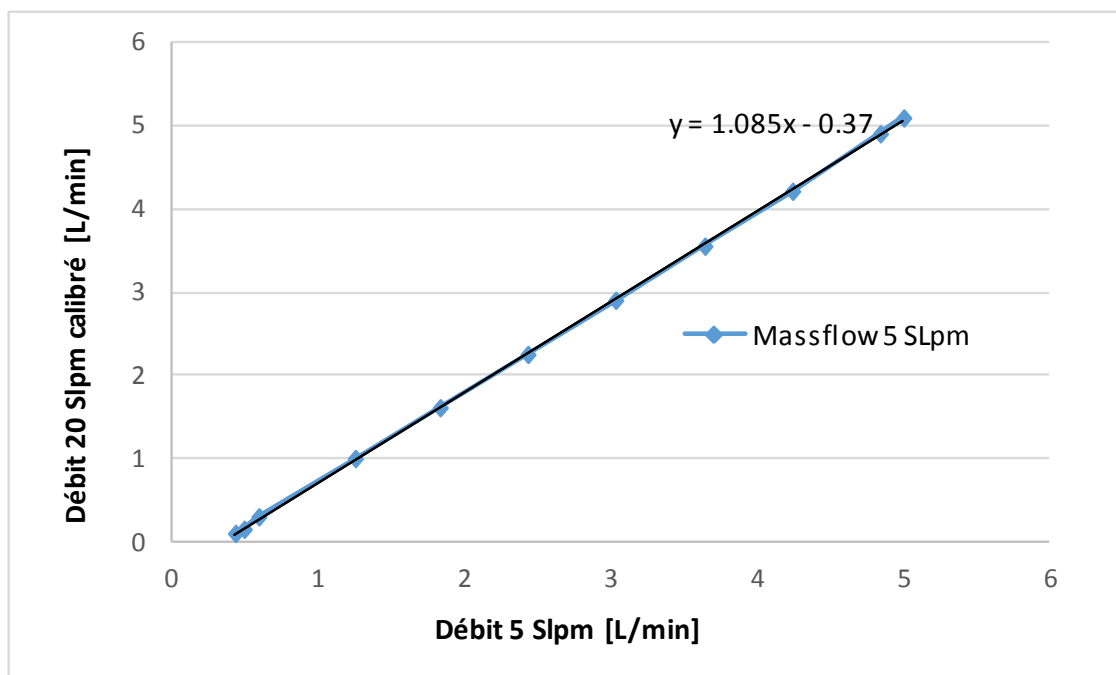


Figure 14: Protocole pour la calibration du débitmètre 5SLpm

Les valeurs lues sur l'ordinateur du débitmètre 20slpm seront comparées aux valeurs de la tension que délivre le débitmètre 5slpm.

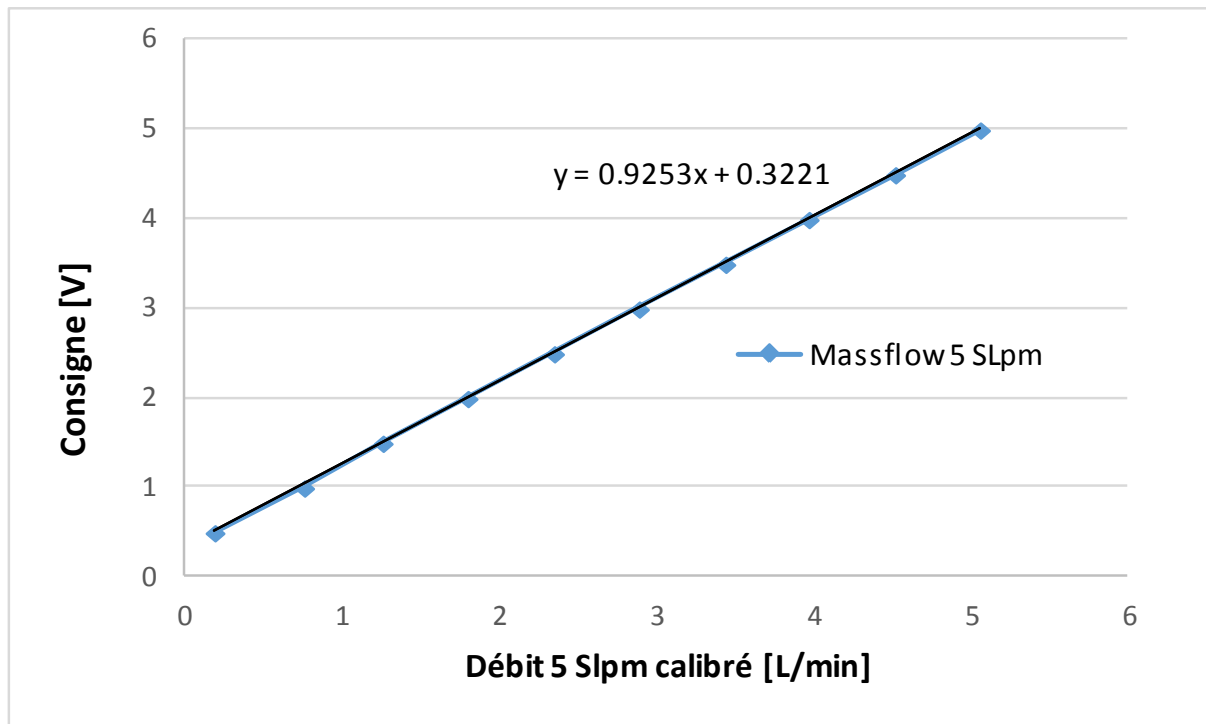


Graphique 8: courbe de calibration du débitmètre 5SLpm permettant de transformer une valeur de tension en valeur physique de débit.

Vu que ce débitmètre sera utilisé avec du CO₂ et que l'on a calibré avec de l'air il ne faut pas oublier le facteur de correction qui est de 0.7 sur la mesure du débit.

La consigne pour la fermeture de la vanne doit aussi être calibrée. Il faut procéder ainsi :

- Mettre une consigne de 0-5Volts avec des pas de 0.5Volts et noter la valeur des débits
- Tracer la courbe de la consigne donnée sur le débit mesuré
- Implémenter l'équation dans le programme



Graphique 9: courbe de calibration du débitmètre 5SLpm permettant de transformer une valeur de consigne de débit en valeur de tension.

Pour la calibration du débitmètre 200Sccm on dispose d'un débitmètre à bille calibré avec l'hydrogène. Il faut comparer la tension délivrée par le débitmètre électronique avec les valeurs du débitmètre à bille.

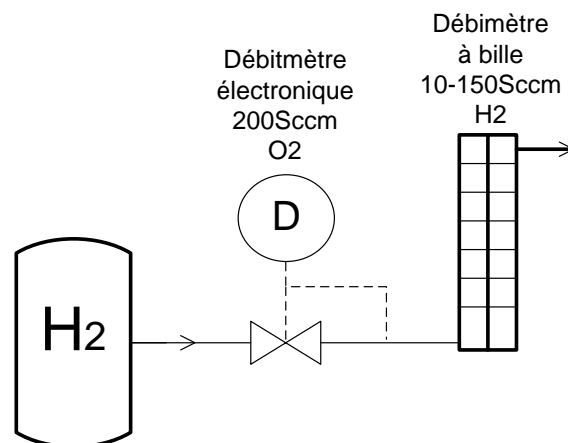
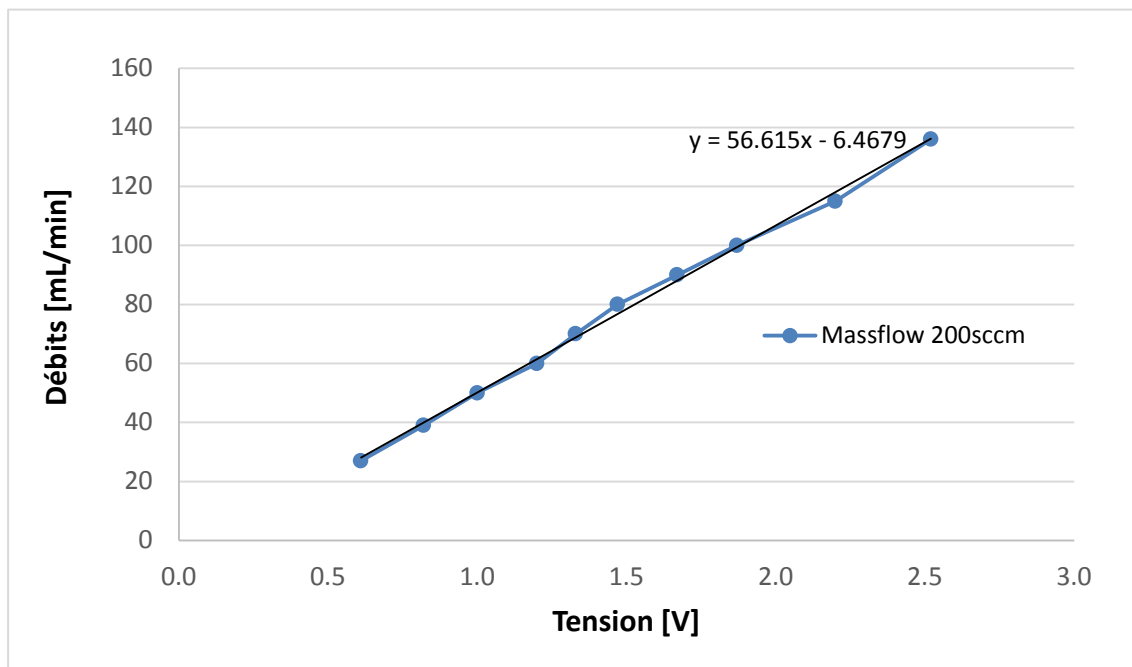


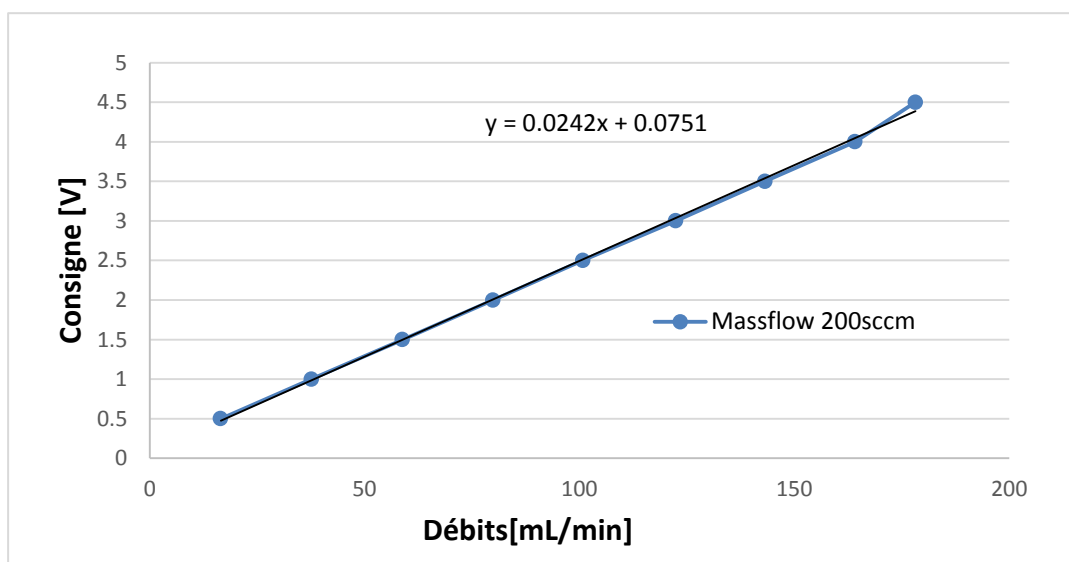
Figure 15 : Protocole de calibration du débitmètre 200Sccm



Graphique 10: courbe de calibration du débitmètre 200Scm permettant de transformer une valeur de tension en valeur physique de débit.

Vu que ce débitmètre sera utilisé avec du CO₂ et que l'on a calibré avec de l'hydrogène il ne faut pas oublier le facteur de correction qui est de 0.7 sur la mesure du débit.

Il faut procéder de la même manière que pour le débitmètre 5slpm pour calibrer la consigne.



Graphique 11: courbe de calibration du débitmètre 5SLpm permettant de transformer une valeur de consigne de débit en valeur de tension.

Pour le débitmètre 500sccm il faut procéder de la même manière que pour le débitmètre 200sccm.

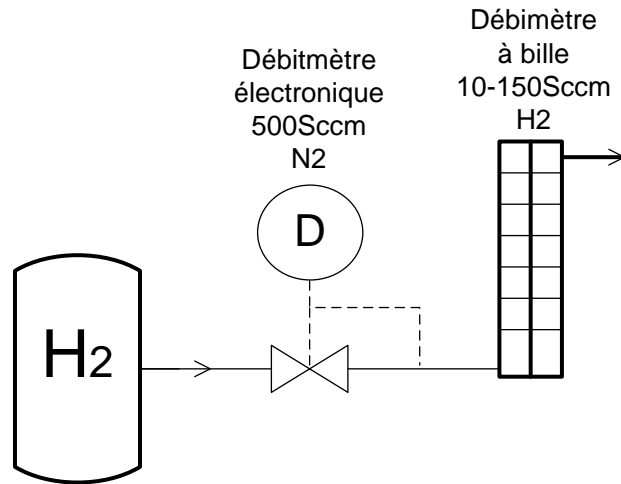
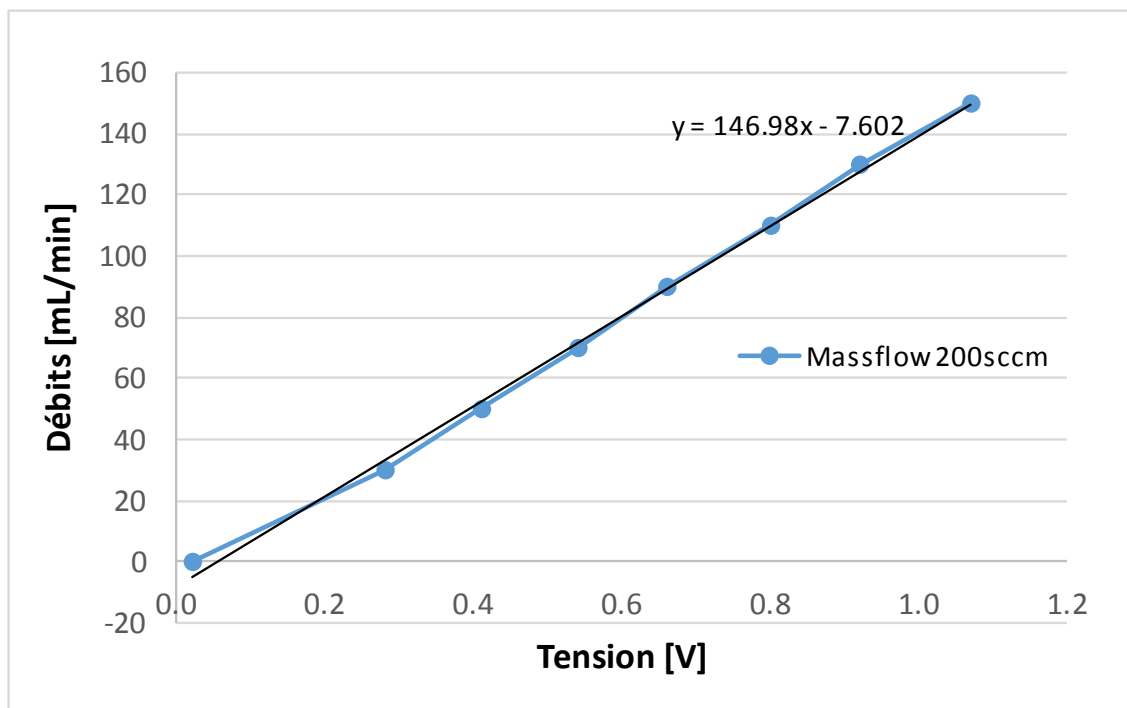
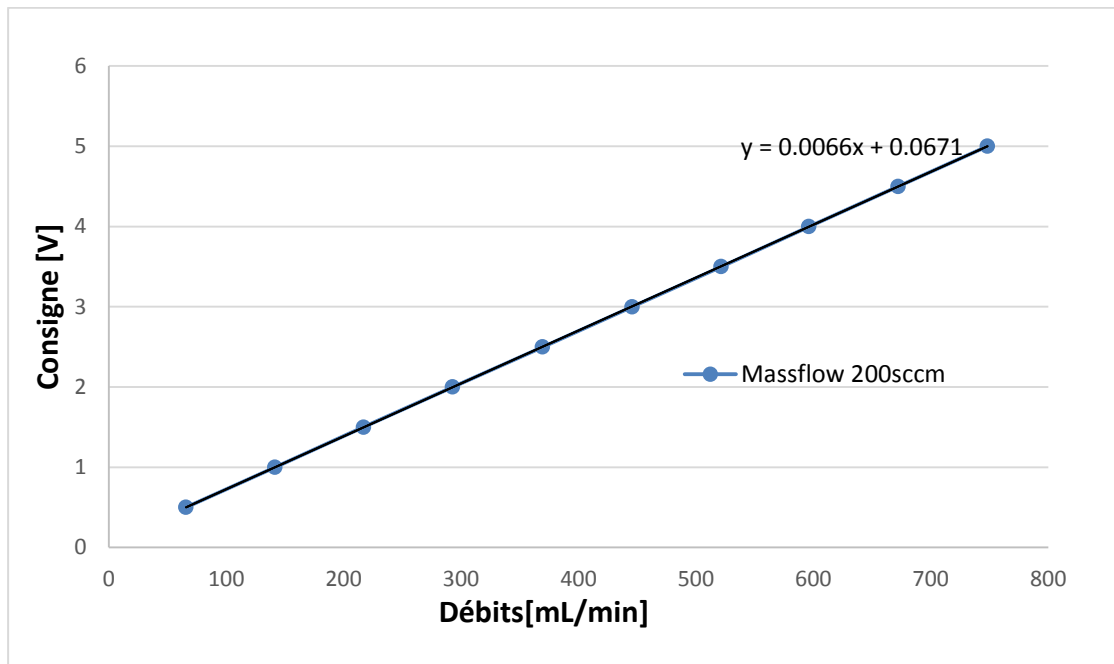


Figure 16: Protocole de calibration du débitmètre 500Sccm



Graphique 12: courbe de calibration du débitmètre 500Sccm permettant de transformer une valeur de tension en valeur physique de débit.

Ici aucun facteur de correction n'a besoin d'être implémenté car le débitmètre sera utilisé avec de l'hydrogène.



Graphique 13: courbe de calibration du débitmètre 500Sccm permettant de transformer une valeur de consigne de débit en valeur de tension.

4.3.4 Calibration de la spectrométrie par infrarouge

Principe

La FTIR (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) est une technique qui permet d'obtenir le spectre d'absorption d'un objet solide, liquide, ou gazeux comme dans notre cas.

Le but est de mesurer la quantité d'absorption de la lumière par l'échantillon en fonction de la longueur d'onde d'une source lumineuse. Cela va nous donner un graphique appelé spectre qui nous montre combien l'échantillon absorbe la lumière pour les différentes longueurs d'ondes (Figure 17). Le principe est expliqué plus précisément en [Réf 3].

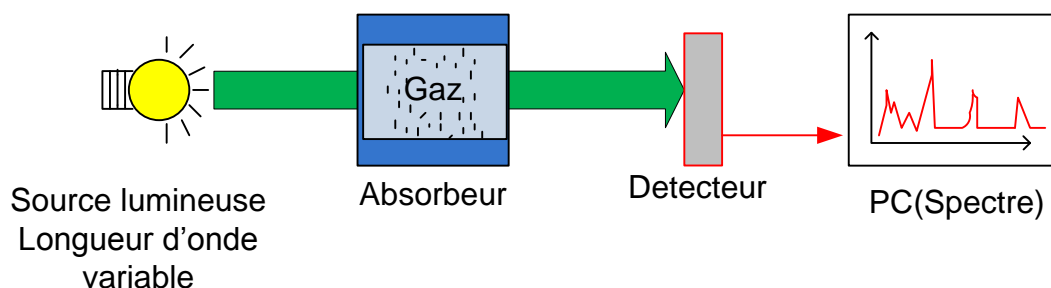


Figure 17: Principe d'une spectroscopie Infrarouge

Exemple du spectre de l'eau du CO₂ et du méthane (figure 18).

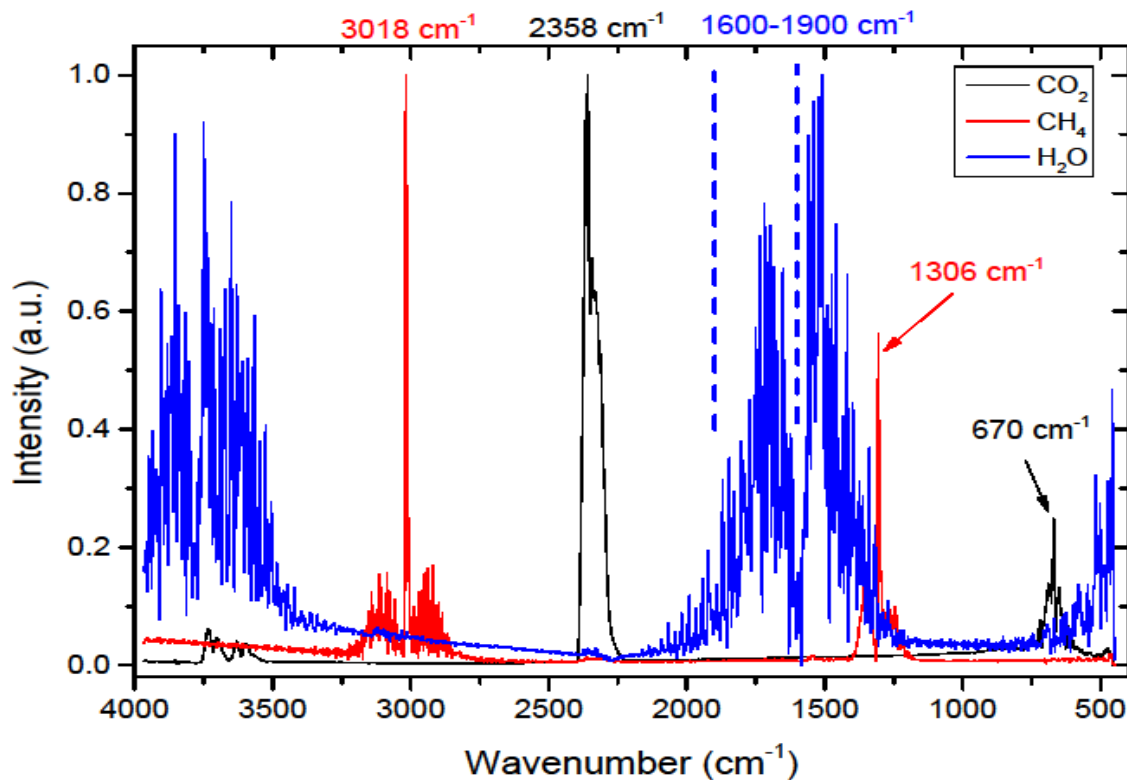


Figure 18: Spectre infrarouge de l'eau du CO₂ et du méthane

Avec ce spectre nous pouvons :

- Définir de quel gaz il s'agit.
- Définir la concentration de gaz qui circule dans le flux.

La calibration du spectromètre infrarouge sert à définir à combien de pourcentage du gaz correspond le résultat d'intégration de la surface du spectre.

Nous avons donc deux gaz à calibrer : le CO₂ et le Méthane.

Le principe est de faire passer le gaz à calibrer à différentes concentrations et de sauvegarder les spectres. Pour cela nous utilisons les gaz à calibrer (CO₂, CH₄) et un autre gaz qui n'est pas détectable (H₂) (Figure 19).

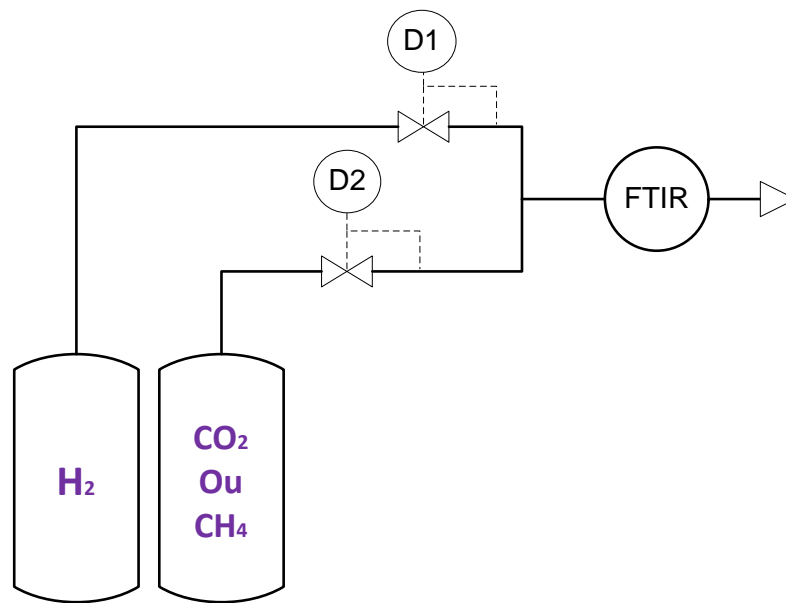
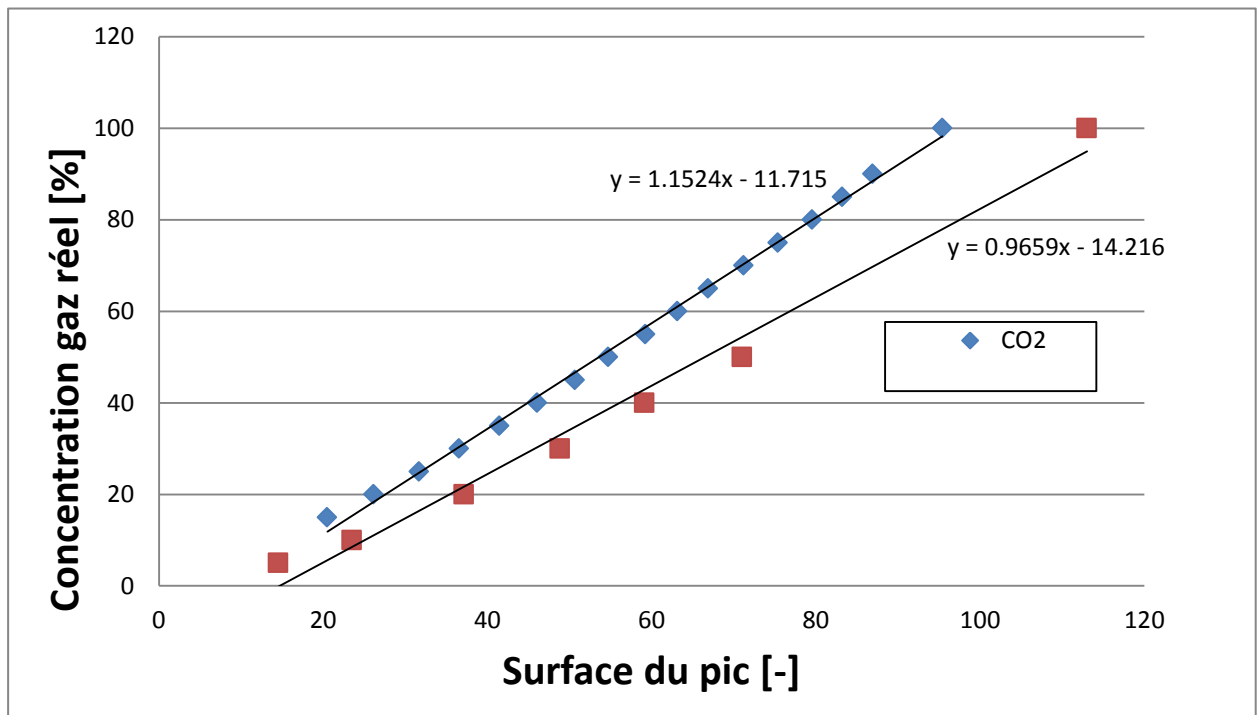


Figure 19: Protocole de calibration du spectromètre infrarouge.

On peut ainsi tracer les courbes de calibration des deux gaz et obtenir l'équation de calibration.



Graphique 14: Courbe de calibration qui permettent de transformer la surface du pic du gaz en question en sa concentration dans le spectromètre de masse.

Pendant le fonctionnement, les mesures de spectre seront transformées ainsi :

- Intégration de la surface du méthane → calcul du %CH₄
- Intégration de la surface du CO₂ → calcul du %CO₂
- Le Ftir ne permet pas de mesurer le spectre de l'hydrogène car il n'absorbe pas la lumière dans les plages de mesures. C'est pour cela que il faut procéder ainsi : Calcul du [%] H₂ = 100% - %CO₂ - %CH₄

4.4 Traitement des données

4.4.1 Différentes classes implémentés dans l'automate.

La figure n°20 présente les différentes classes appelées VI qui permettent d'acquérir et transformer les données brutes en données utilisables. La base du système de traitement des données est expliqué plus précisément en [Réf 3].

Le système est divisé en 4 Classes présentées ci-dessous :

- VI FPGA
- VI acquisition
- VI Calcul
- VI main

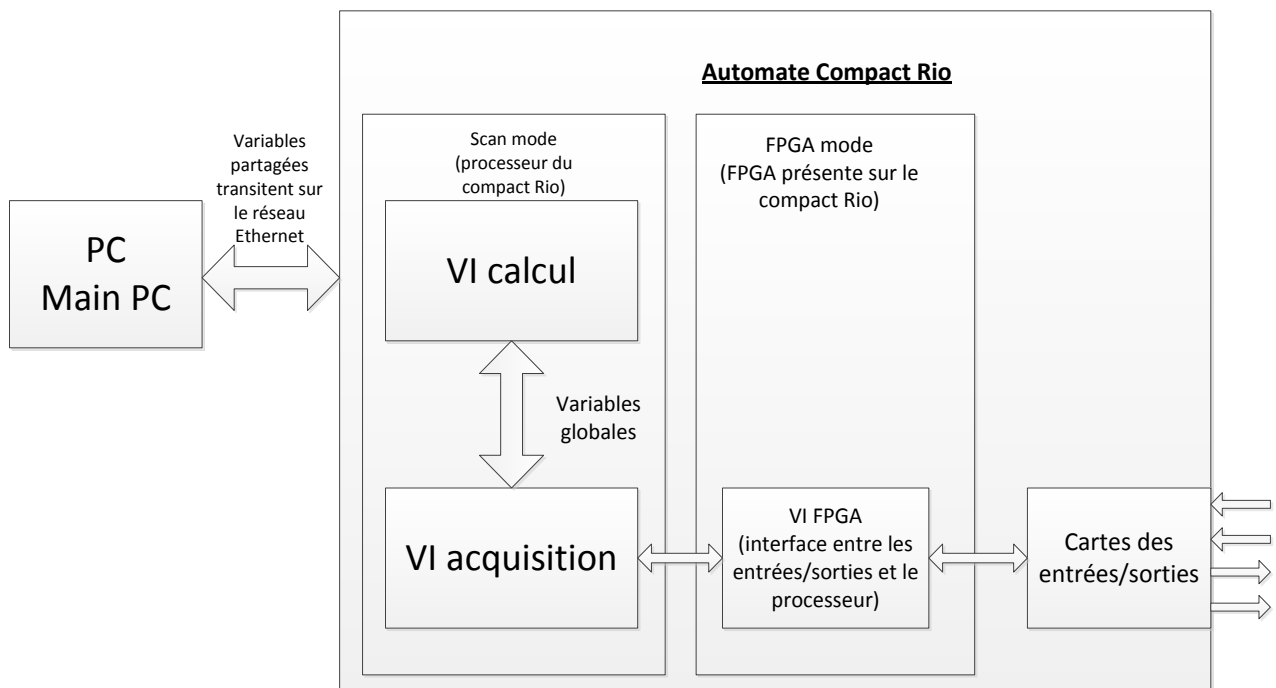


Figure 20: Différentes classes présentes dans le programme d'automatisation du système power to gas. Vi Fpga, Vicalcul, Vi acquisition, Vi main.

4.4.2 Acquisition des données

VI FPGA

Le Vi FPGA est le plus simple possible afin de ne plus avoir à le reprogrammer (car la programmation est très lente). Il prend simplement les mesures des cartes et les transmet au processeur. Il lit également les valeurs transmises par le processeur afin de les écrire sur les cartes de sortie.

4.4.3 Calculs des données

Vi acquisition

Ce Vi récupère les mesures du Vi FPGA. C'est également dans cette partie de code que les conversions des signaux d'entrée sont effectuées pour transformer un signal 0-10V en un autre signal physique (par exemple pression en [bar]).

Il a également la fonction de transmettre les variables de consigne à la FPGA. Le temps de cycle est paramétré à 100ms.

Vi calcul

Ce Vi effectue les conversions de consigne d'un signal physique en tension. C'est lui qui envoie et reçoit les paquets de données sur l'ordinateur par Ethernet. Il y a aussi une partie du Vi qui est consacrée au calcul de la régulation du chauffage.

4.4.4 Transmission

Main (interface homme-machine)

Ce programme se trouve sur l'ordinateur. Il récupère le paquet de données des mesures de l'installation afin de les afficher sur l'interface. Ces données sont également stockées dans une base de données afin de les garder en mémoire durant 365 jours. C'est aussi cette classe qui s'occupe de la régulation des débits de gaz comme décrit au chapitre 5.3. L'interface homme-machine est implémentée dans le main (image 1). On peut visualiser toutes les valeurs physiques des capteurs ainsi que donner des consignes. Exemple : tension, débit, température. Un graphique temporel est présent ce qui permet de mieux se représenter les changements de valeurs dans le temps.

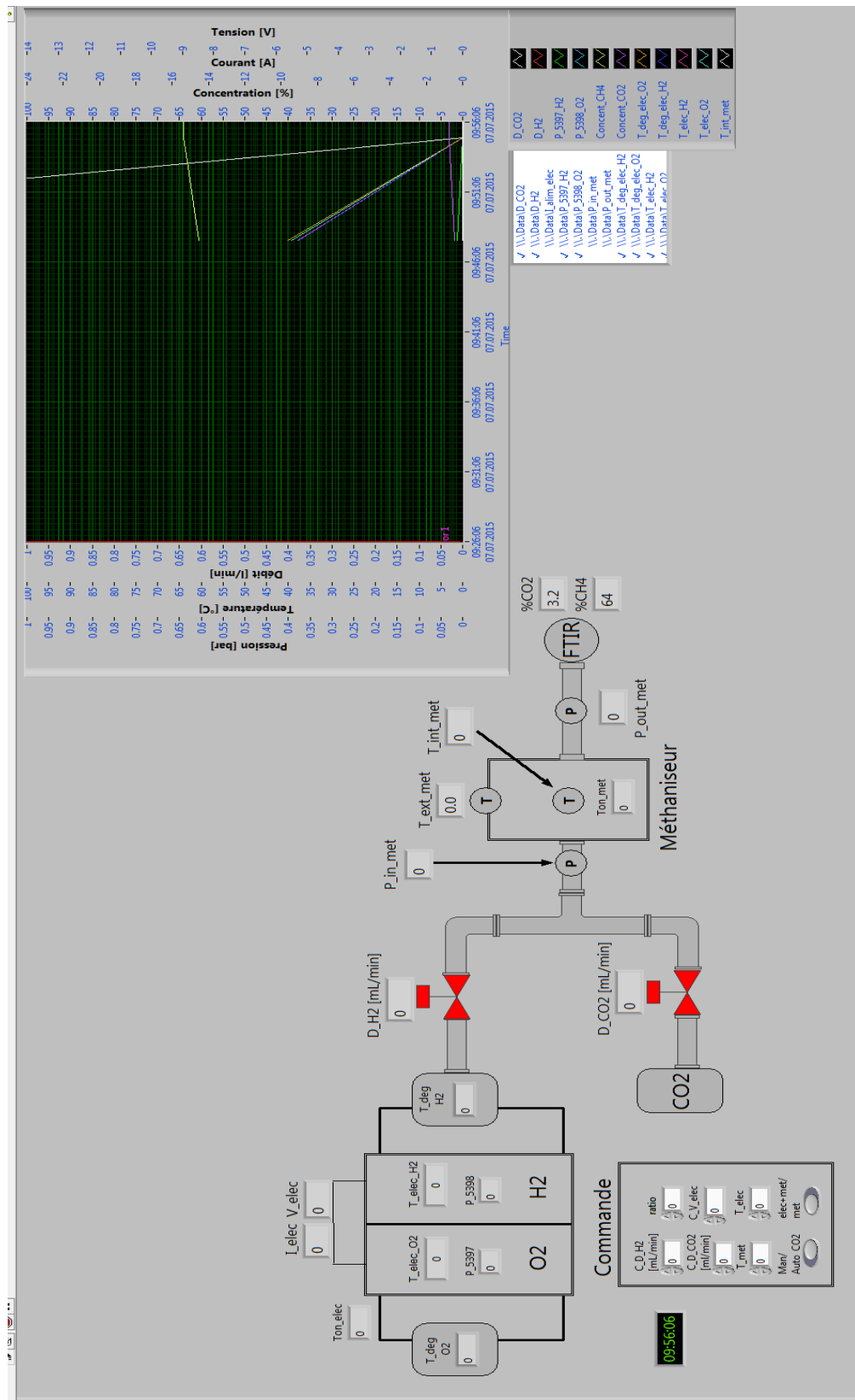


Image 1 : interface homme-machine avec visualisation des valeurs physique des capteurs et choix des consignes

4.4.5 Sauvegarde des données

Chaque mesures que ce soit de température, pression, voltage, etc. est sauvegardée dans une base de donnée pendant 365 jours. Cela permet d'inscrire toutes ces valeurs dans des fichiers Excel et ainsi traiter ces valeurs en donnés utiles (courbes, etc.).

4.4.6 Différentes variables globales

Les différentes variables stockés dans la base de donnée sont listés dans le tableau 4.

Variables	Fonction	Place du capteur	Output/Input
P_in_met	Mesure de la pression à la sortie du méthaniseur (point chaud)	P3	I
P_out_met	Mesure de la pression à la sortie du méthaniseur (point froid)	P4	I
P_5398	Mesure la pression coté Hydrogène dans l'électrolyseur	P2	I
P_5397	Mesure la pression coté Oxygène dans l'électrolyseur	P1	I
V_alim_elec	Mesure la tension aux bornes de l'électrolyseur	Dans l'alimentation	I
I_alim_elec	Mesure le courant aux bornes de l'électrolyseur	Dans l'alimentation	I
D_CO2	Mesure du Débit de CO2	D2	I
D_H2	Mesure du Débit de H2	D1	I
C_D_CO2	Consigne de débit du CO2	D2	O
C_D_H2	Consigne de Débit de H2	D1	O
C_V_elec	Consigne de Tension aux bornes de l'électrolyseur	Dans l'alimentation	O
C_C_elec	Consigne de Courant aux bornes de l'électrolyseur	Dans l'alimentation	O
C_T_met	Consigne de température du méthaniseur	Relai 230V	O
C_T_elec	Consigne de température de l'électrolyseur	Relai 230V	O
T_int_met	Mesure de température à l'intérieur du méthaniseur	T5	I
T_ext_met	Mesure de température à l'extérieur du méthaniseur	T6	I
T_elec_H2	Mesure de température du coté H2 de l'électrolyseur	T2	I
T_elec_O2	Mesure de température du coté O2 de l'électrolyseur	T1	I
T_deg_elec_O2	Mesure de température du coté O2 du dégazeur de l'électrolyseur	T3	I
T_deg_elec_H2	Mesure de température du coté H2 du dégazeur de l'électrolyseur	T4	I

Tableau 4 : Liste des variables dans le programme et emplacement dans le système

4.5 Branchements électriques

Tous les capteurs doivent être reliés par la même masse que l'automate pour éviter des erreurs de mesures dues aux masses flottantes. Trois cartes différentes de l'automate sont utilisées :

- Ni9220, slot4 : toutes les entrées (mesures) sont connectées à cette carte.
- Ni9264, slot5 : toutes les sorties (consignes) sont connectées à cette carte.
- Ni9213, slot6 : Tous les capteurs de température type K sont connectés à cette carte.

Les capteurs sont branchés selon les emplacements de la figure 21.

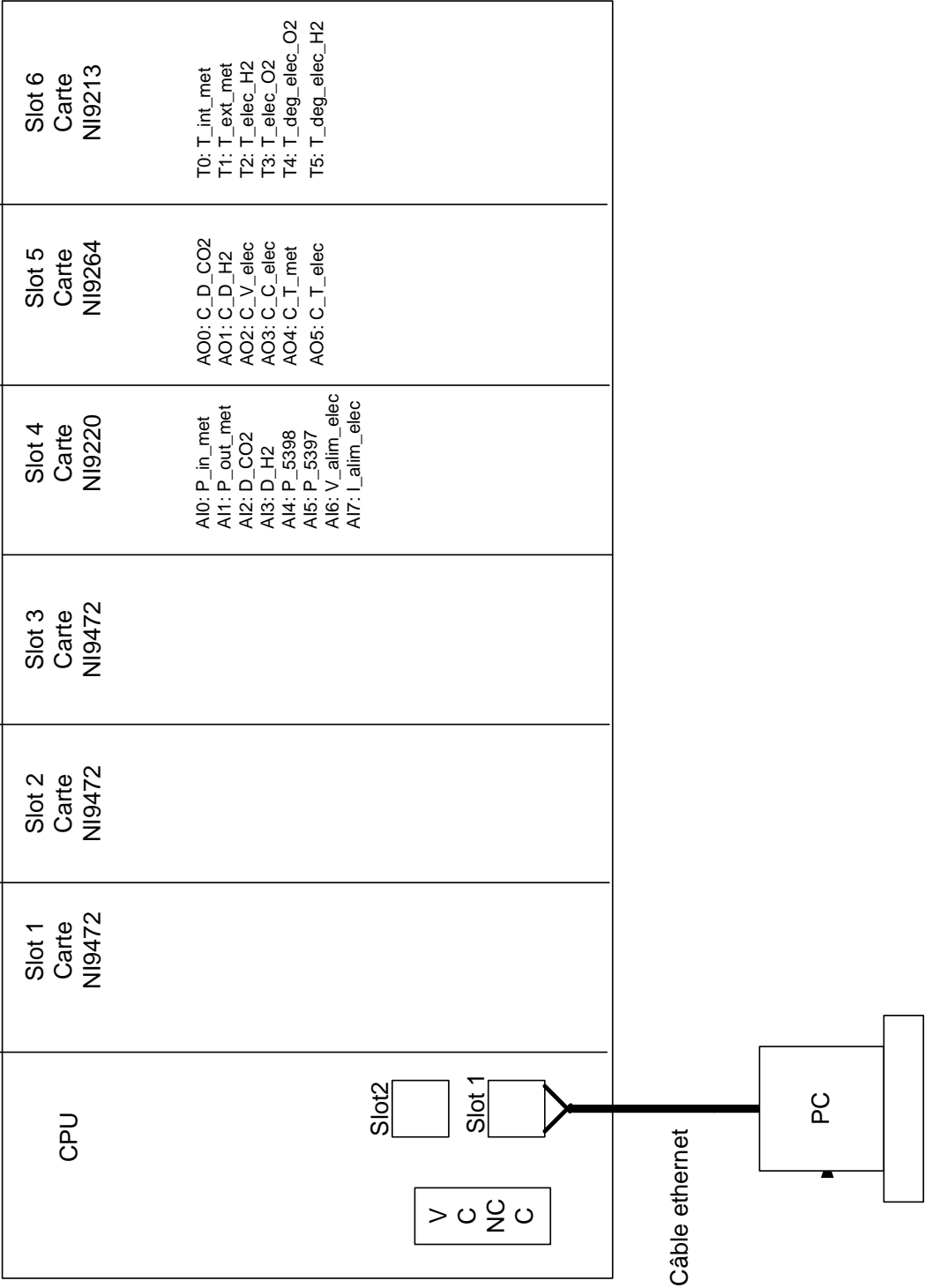


Figure 21: Emplacement électrique des capteurs dans l'automate

V. REGULATION DES PARAMÈTRES CLEFS

5.1 But de la régulation

Le but de la régulation est l'automatisation des paramètres clés. Exemple :le chauffage. Cela permet de lancer le système et laisser l'automate gérer ces paramètres pour avoir le meilleur point de fonctionnement.

La régulation englobe 2 parties distinctes :

- Le chauffage du méthaniseur et de l'électrolyseur
- Le ratio entre le débit de CO2 et H2

5.2 Régulation du chauffage

La régulation du chauffage du méthaniseur et de l'électrolyseur est très semblable.

Toutes les étapes sont visibles sur les figures 22 et 23 qui montrent la régulation du chauffage de l'électrolyseur.

Tout d'abord la valeur de consigne ainsi que la valeur réelle de température est convertie en pourcentage par rapport à la température maximale (1).

Ensuite le régulateur PID prends ces données et les transforment en % d'activation du chauffage. Ce pourcentage correspond au Ton du chauffage (2). Il faut choisir un temps de cycle. Ici chaque secondes et ensuite calculer grâce à ce pourcentage le temps que le chauffage sera On et le temps Off (3).

$$Temps\ On[ms] = \frac{Temps\ de\ cycle[ms]}{100} * Ton[\%]$$

$$Temps\ Off[ms] = temps\ de\ cycle[ms] - Temps\ On[ms]$$

Un relai est utilisé pour activer ou non le chauffage. Si on lui met une tension plus haute que 4 Volts sur la commande il laisse passer le courant. Pour avoir de la marge, pendant Ton (5) une tension de 10 Volts (4) est envoyée au bornes du relai et ensuite la tension est coupée (6) pendant Toff (7) et le cycle redémarre.

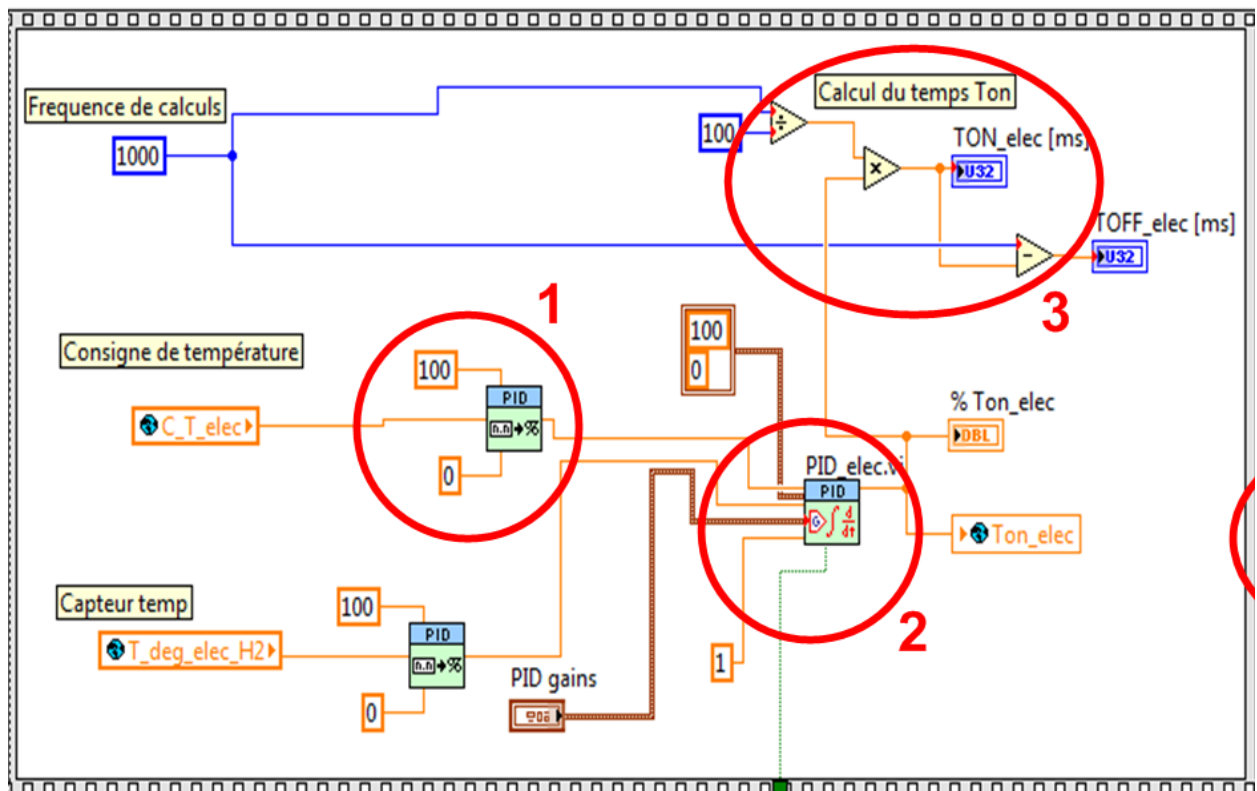


Figure 22: Calcul du temps Ton et Toff en fonction des paramètres de régulation, de la consigne de température et de la température mesurée

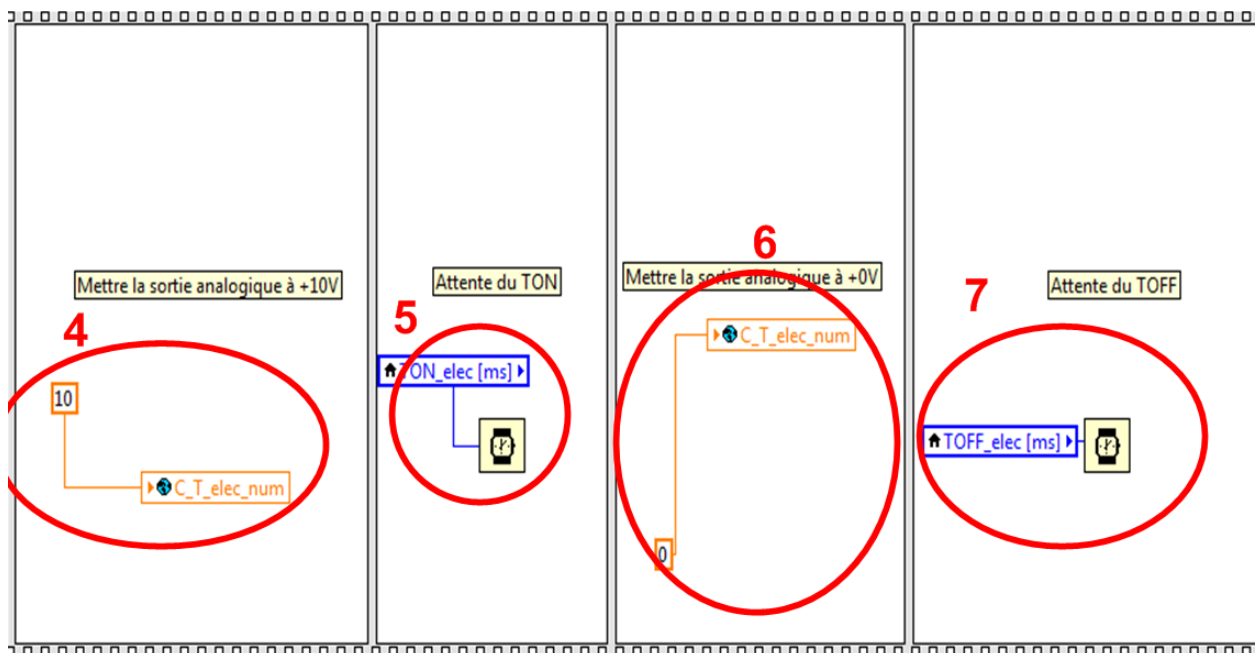


Figure 23: Exécution des temps Ton et Toff du chauffage et changement de consigne du relai

Les paramètres pour les régulateurs sont les suivants :

- L'Electrolyseur $K_P=12$
- Le Méthaniseur $K_P=30$ $T_i=1$

Ces valeurs ont été choisies de manière expérimentale.

5.3 Régulation du débit

La régulation des débits est toute simple. Pour les premiers essais réalisés sur le méthaniseur et avec les bombonnes de gaz il suffit de choisir un débit d'hydrogène en envoyant une consigne de débit au Massflow controller et ensuite calculer la consigne du Massflow controller coté CO₂ en fonction du ratio CO₂/H₂ désiré.

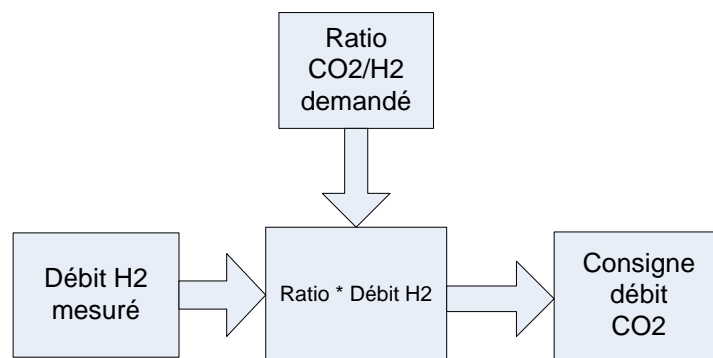


Figure 24: Principe de régulation du débit de CO₂ en fonction du débit de H₂ mesuré

Avec les bombonnes de gaz le débit d'hydrogène est constant par contre avec l'électrolyseur le débit sortant des dégazeurs varie de $\pm 10\%$ (voir graphique 31) la régulation aura un léger retard entre le moment de la prise de mesure du débit d'hydrogène et la consigne de débit de CO₂ mais reste toujours très bonne.

VI. RÉSULTATS

La mesure de débit pour l'électrolyseur et du méthaniseur (chapitre 6.1 et 6.2) a été réalisée avec les massflows 20SLPM pour l'H₂ et 5SLPM pour le CO₂. La mesure de débit pour le système mis en série (chapitre 6.3) a été réalisée avec les massflows 500Sccm pour l'H₂ et 200Sccm pour le CO₂

6.1 Electrolyseur

Les données sont récoltées comme expliqué au chapitre 4.4.

Le point optimal de fonctionnement de l'électrolyseur est un compromis entre la puissance et le courant. Ainsi il faut que la puissance soit la plus petite possible tandis que le courant qui permet la réaction d'électrolyse soit le plus grand.

$$P \downarrow = U \downarrow * I \uparrow$$

Pour pouvoir caractériser et comparer l'électrolyseur il faut dessiner les courbes appelés I/V qui caractérisent le courant envoyé dans l'électrolyseur sur la tension à ses bornes.

Les essais sont réalisés avec une alimentation qui permet de sortir 24Ampères sous 35 volts.

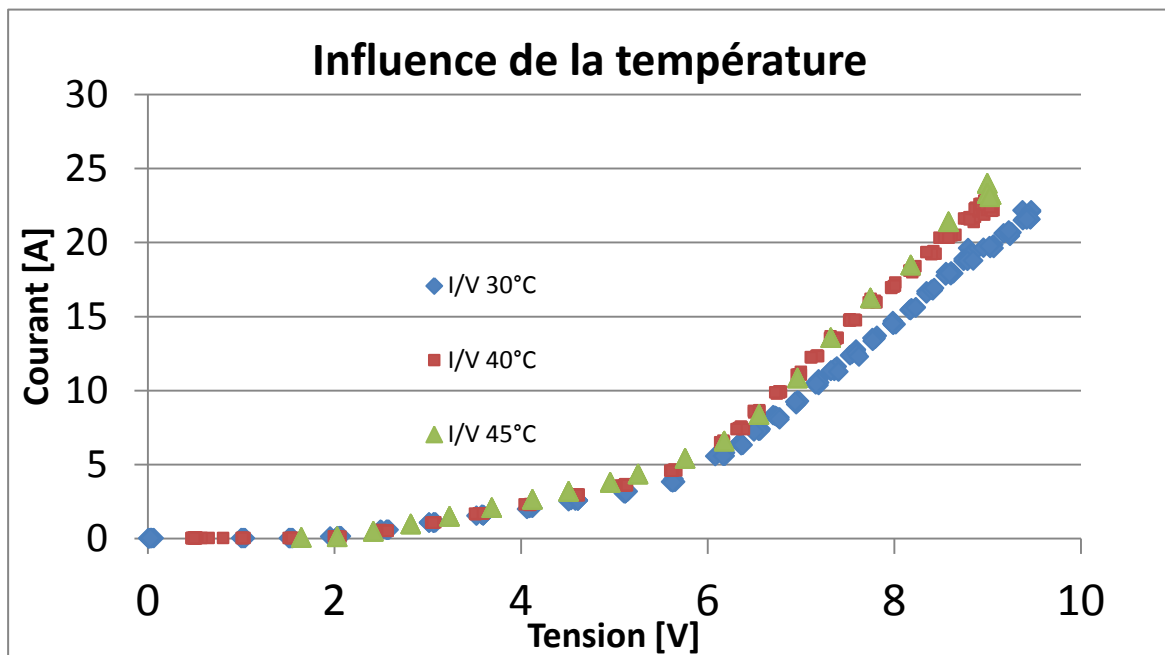
Pour procéder aux mesures, la tension sera incrémentée de 0.2 V chaque 8 secondes tandis que la limite maximale du courant sera de 22 Ampères.

Différents essais sont effectués avec l'électrolyseur en fonction des paramètres que l'on peut varier afin de trouver le point optimum de fonctionnement. On va procéder à :

- Un test en température : il faut tracer la courbe I/V en fonction de la température de fonctionnement de l'électrolyseur.
- Un test en pression : il faut tracer la courbe I/V en fonction de la pression de fonctionnement de l'électrolyseur.
- Comparaison : Il faut comparer les courbes avec la littérature et avec l'électrolyseur construit pendant le PGA pour le projet Power to gas
- Détection des gaz : Il faut détecter si de l'oxygène pollue l'hydrogène sortie de l'électrolyseur. Pour cela on utilise un spectromètre de masse.

6.1.1 Influence de la température

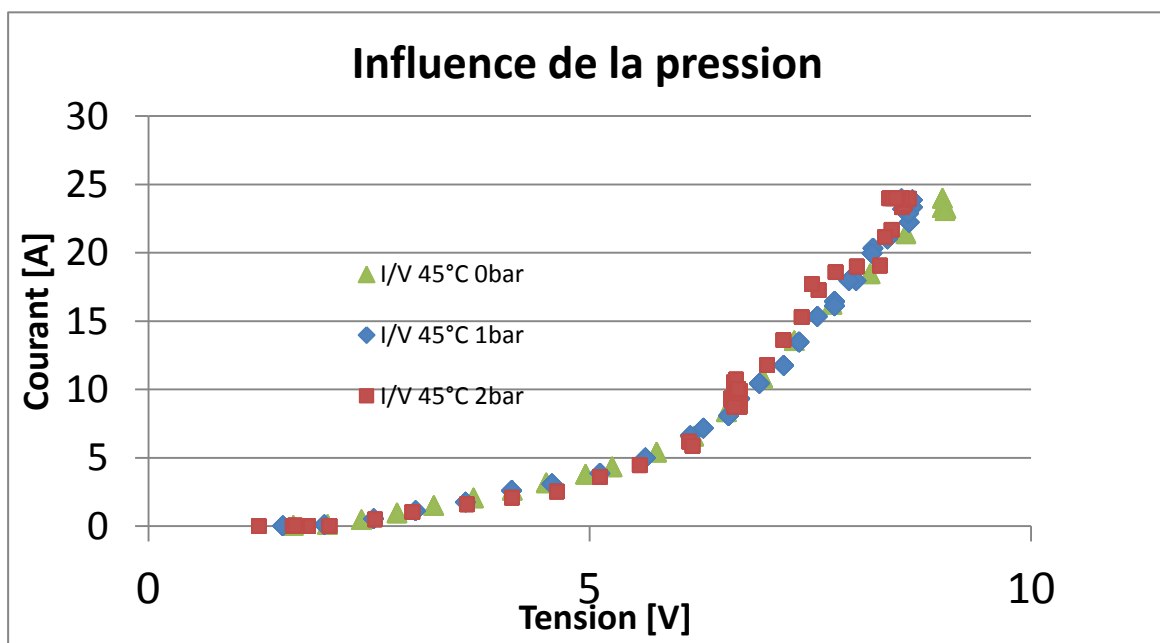
On peut remarquer qu'avec une augmentation de température le rendement de l'électrolyseur augmente car il faut moins de tension pour un plus grand courant (graphique 15). Les pompes de l'électrolyseur ne supportant pas une température plus haute que 50 °C les essais n'ont pas été réalisés à une température supérieure à 45°C. Il y a un courant qui traverse notre électrolyseur à 0.5 V donc en dessous des 1.23 V requis pour la réaction. Ce phénomène doit être approfondi par la suite. On peut l'observer sur les graphiques 16, 17, 18.



Graphique 15: Courbe IV avec différentes température de l'électrolyte. Plus l'électrolyte est chaud plus le courant est grand pour la même tension

6.1.2 Influence de la pression

On peut observer que la pression n'a que très peu d'effets sur le rendement énergétique de l'électrolyseur (graphique 16). Pour des problèmes d'étanchéité, la pression dans l'électrolyseur ne dépassera pas 2 bars pour les essais.



Graphique 16: Courbe IV avec différentes pressions dans l'électrolyseur. Pas grande influence de la pression

6.1.3 Comparaison littérature

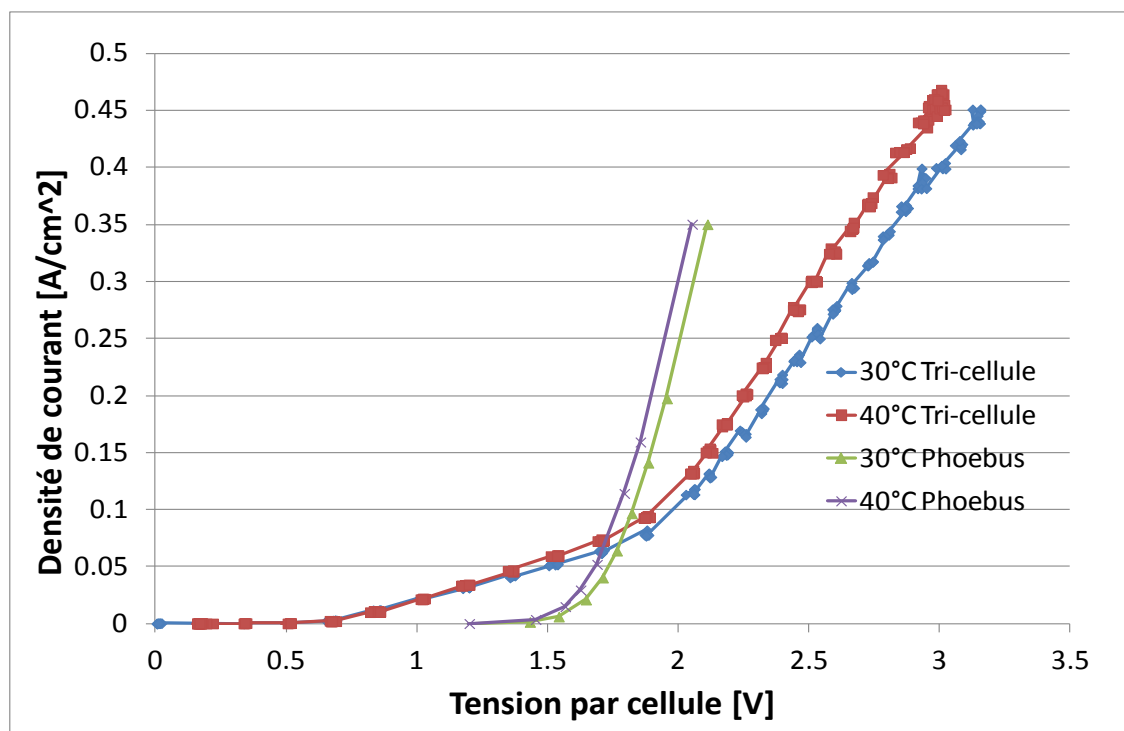
On va dessiner la courbe de la densité de courant par rapport à la tension par cellule pour pouvoir le comparer avec l'électrolyseur du projet phoebus [Réf 9] et l'électrolyseur mono-cellule construit à l'Hes-so [Réf 3].

Les électrolyseurs alcalins présentent les caractéristiques suivantes :

	Phoebus	Tri-cellule
Distance membrane-électrode	0mm	3mm
Pression [bar]	7	atm
Nbre cellule	21	3
Surface électrode	0.25m ²	49cm ²
Matière anode	Ni,CO,FE	Ni
Matière cathode	Ni,C-Pt	Ni
Matière diaphragme	NiO	Zirfon
Electrolythe	H2O+30%KOH	H2O+30%KOH

Tableau 5: Comparaison Phoebus [Réf 9] – tri-cellule fabriqué à l'hes-so

On peut remarquer que l'électrolyseur Phoebus est trois fois plus efficace pour une tension de 2V par cellule (voir graphique 17) : 0.35A/cm² pour phoebus et 0.12A/cm² pour le tri-cellule. L'espace entre les électrodes et la membrane, la matière des électrodes, le diaphragme en NiO permettent d'augmenter nettement son rendement.

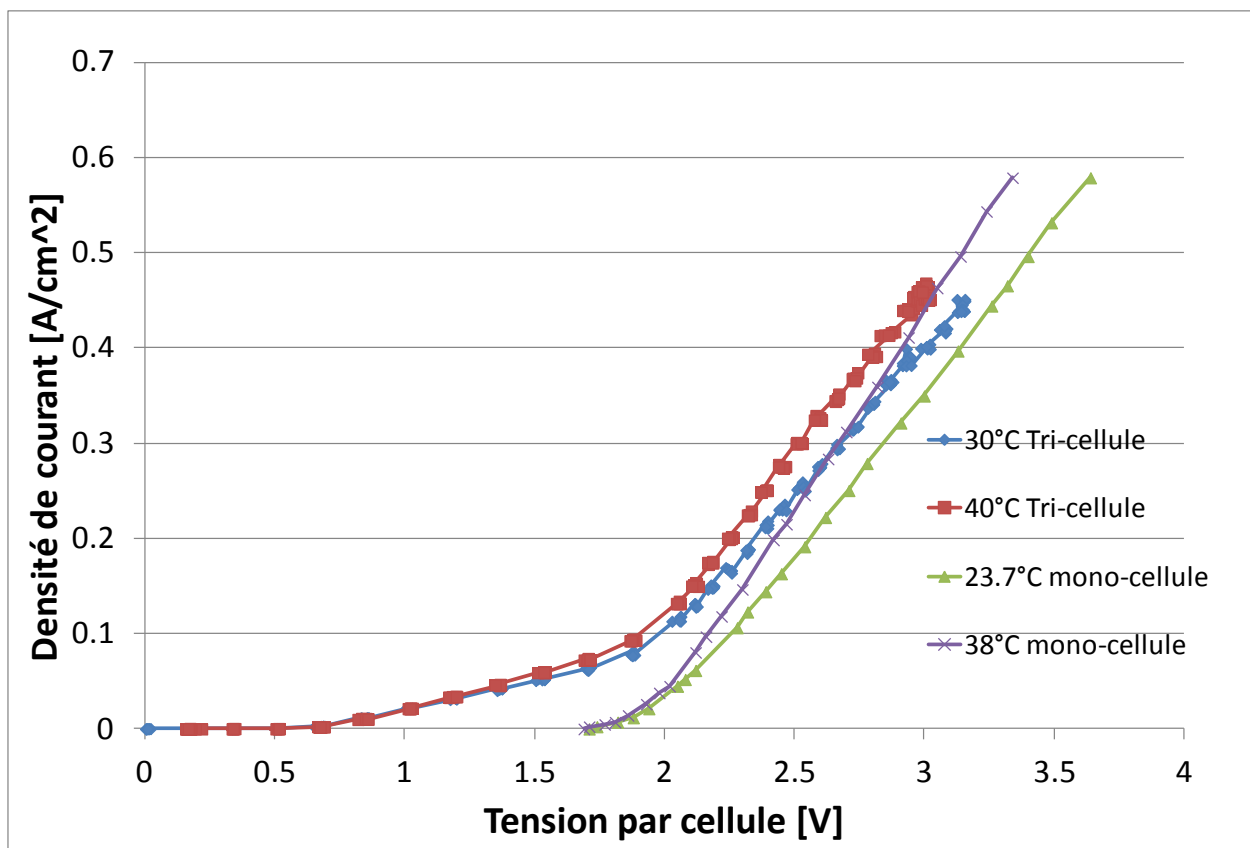


Graphique 17: Comparaison des densités de courant pour les mêmes tensions entre l'électrolyseur tri-cellule fabriqué et un électrolyseur du projet Phoebus.

6.1.4 Comparaisons avec électrolyseur tri-cellule avec mono-cellule

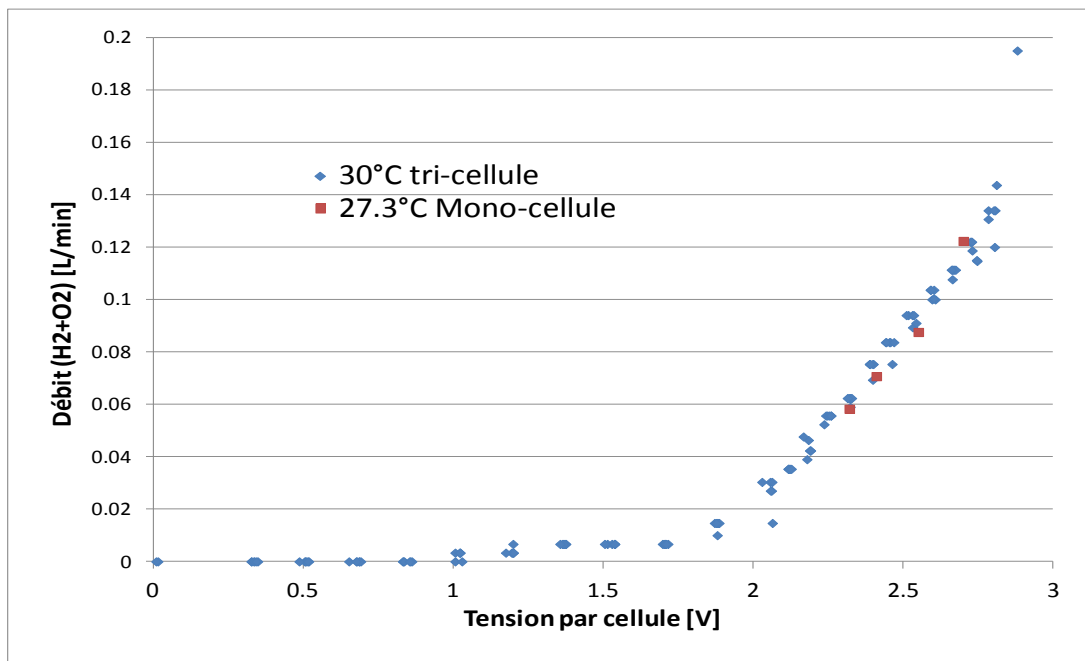
On va comparer l'électrolyseur mono-cellule fabriqué pendant le PGA 2014 [Réf 3]. Et l'électrolyseur tri-cellule fabriqué pendant le travail de semestre et le travail de diplôme [Réf 4].

On peut remarquer que l'électrolyseur mono-cellule fournira le même courant au dessus de 3 Volts par cellules mais la tri-cellule donnera trois fois plus de courant vers le point de fonctionnement de 2Volts par cellule.



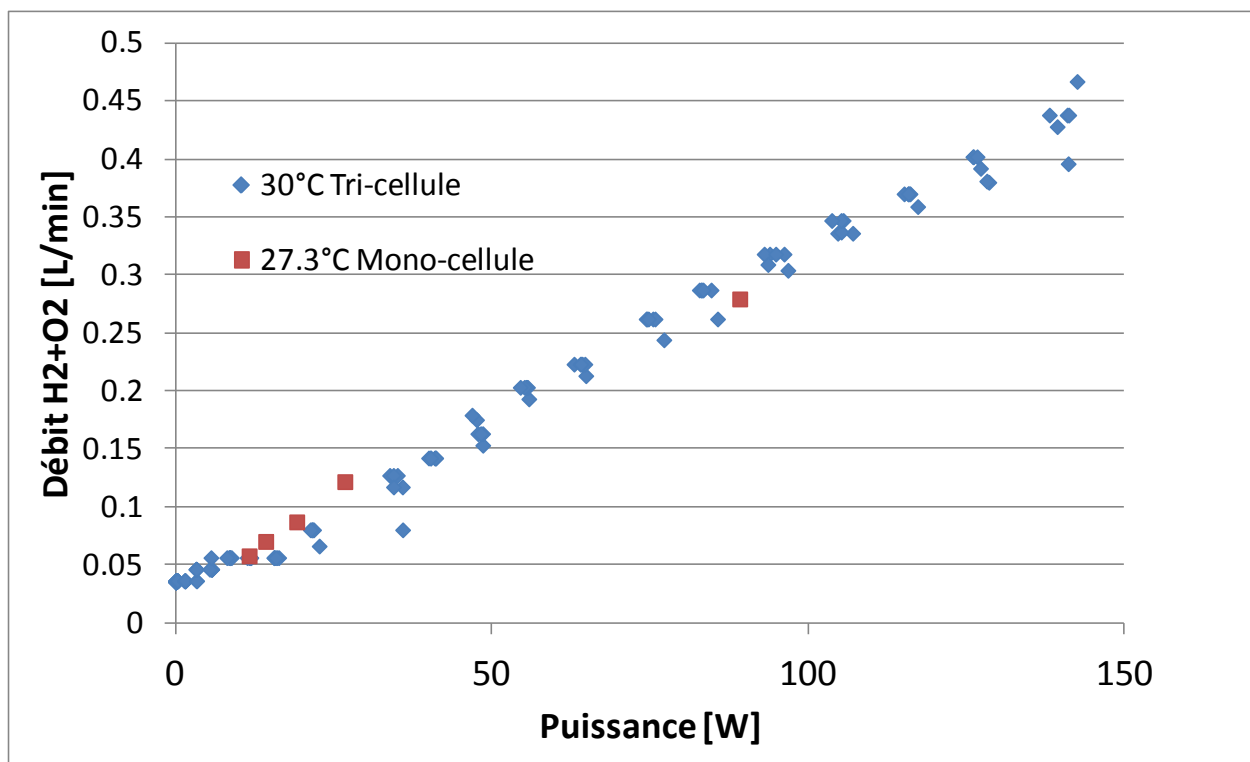
Graphique 18: Courbes de densité de courant sur la tension par cellule à différentes températures

Sur le graphique 19 le débit de l'électrolyseur tri-cellule à été divisé par 3 pour pouvoir être comparé avec l'électrolyseur mono-cellule. On peut remarquer que le tri-cellule et le mono-cellule produisent la même quantité de gaz pour la même tension par cellule.



Graphique 19: Comparaison des débits (H2+O2) avec division par 3 du débit de l'électrolyseur tri-cellule.

Si on compare les débits des électrolyseurs avec la puissance qui est injectée on remarque que pour la même puissance le débit de gaz est pareil. Ces résultats doivent être revérifiés car le massflow est dans sa plage de mesure minimale. (Voir graphique 20).



Graphique 20: Comparaison des débits (H2+O2) en fonction de la puissance injectée dans l'électrolyseur.

Ces graphiques permettent de montrer que l'électrolyseur tri-cellule délivre les mêmes débits pour la même puissance que l'électrolyseur mono-cellule mais l'avantage est le gain de matière et la compacité. On peut aussi facilement ajouter des étages de cellules d'électrolyse (5 pièces dont 3 différentes.)

6.1.5 Détection des gaz

La détection des gaz permet de détecter la quantité de pollution O_2 dans l'hydrogène sortant de l'électrolyseur. On utilise pour ça un spectromètre de masse qui scinde toutes les liaisons entre les atomes et permet de détecter les atomes de ce gaz. Un montage spécial doit être effectué pour ne pas avoir de gaz indésirables dans le spectromètre de masse comme : l'air ambiant.

Les étapes suivantes doivent être effectuées pour faire une bonne mesure (figure 25) :

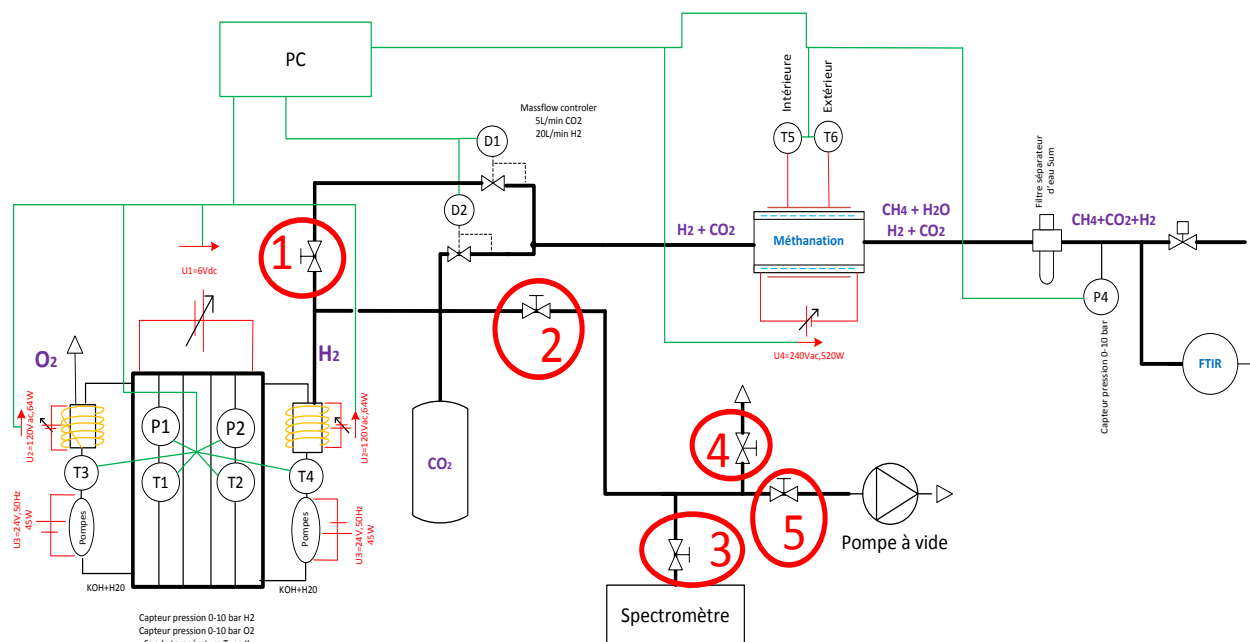
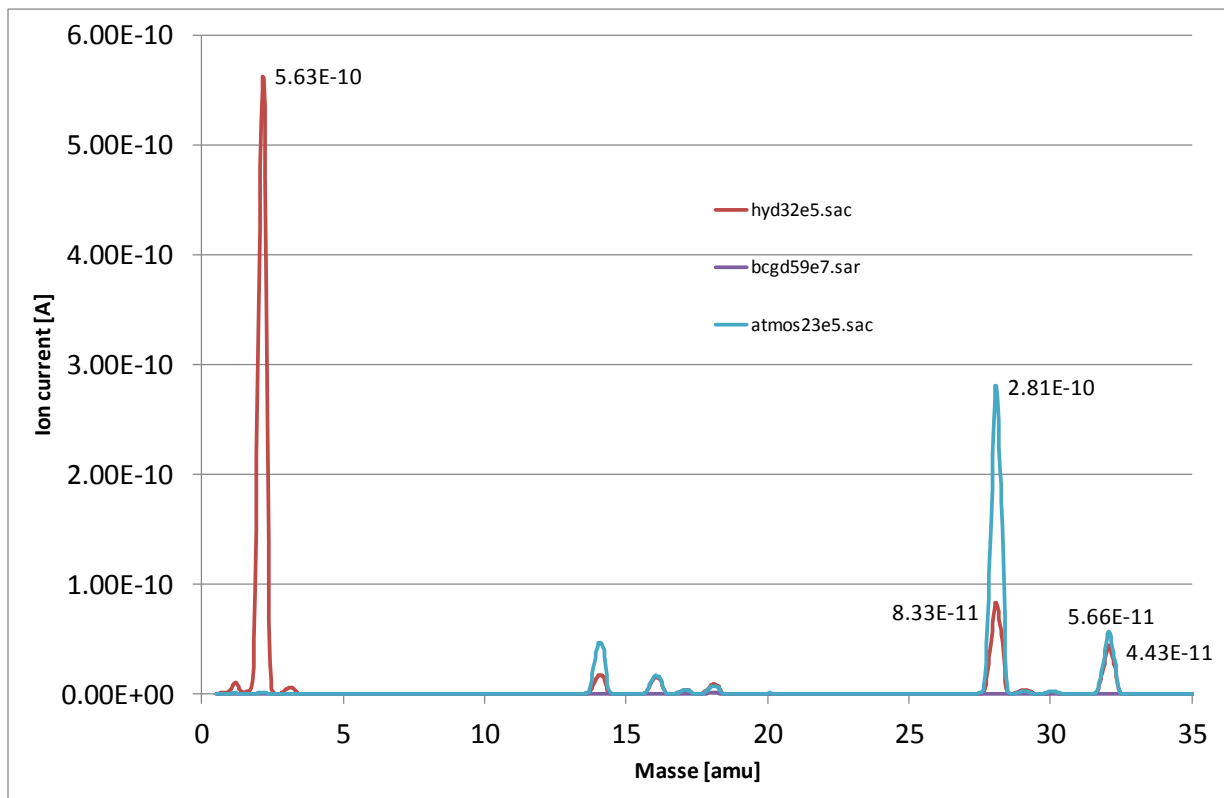


Figure 25: Montage des vannes, de la pompe à vide, et du spectromètre de masse pour faire des mesures de la pollution de l'oxygène dans l'hydrogène produite par l'électrolyseur. Cela permet d'enlever les gaz indésirables du circuit de mesure.

1. Fermeture vanne 2,3 et 4
2. Ouverture vanne 1 et 5
3. Vider le contenu du tuyau avec la pompe à vide.
4. Fermeture vanne 1 et 5
5. Ouverture **gentiment** (pour éviter que le liquide de l'électrolyseur soit aspirée) la vanne 2 pour remplir avec notre gaz le tuyau.
6. Ouverture de la vanne 3

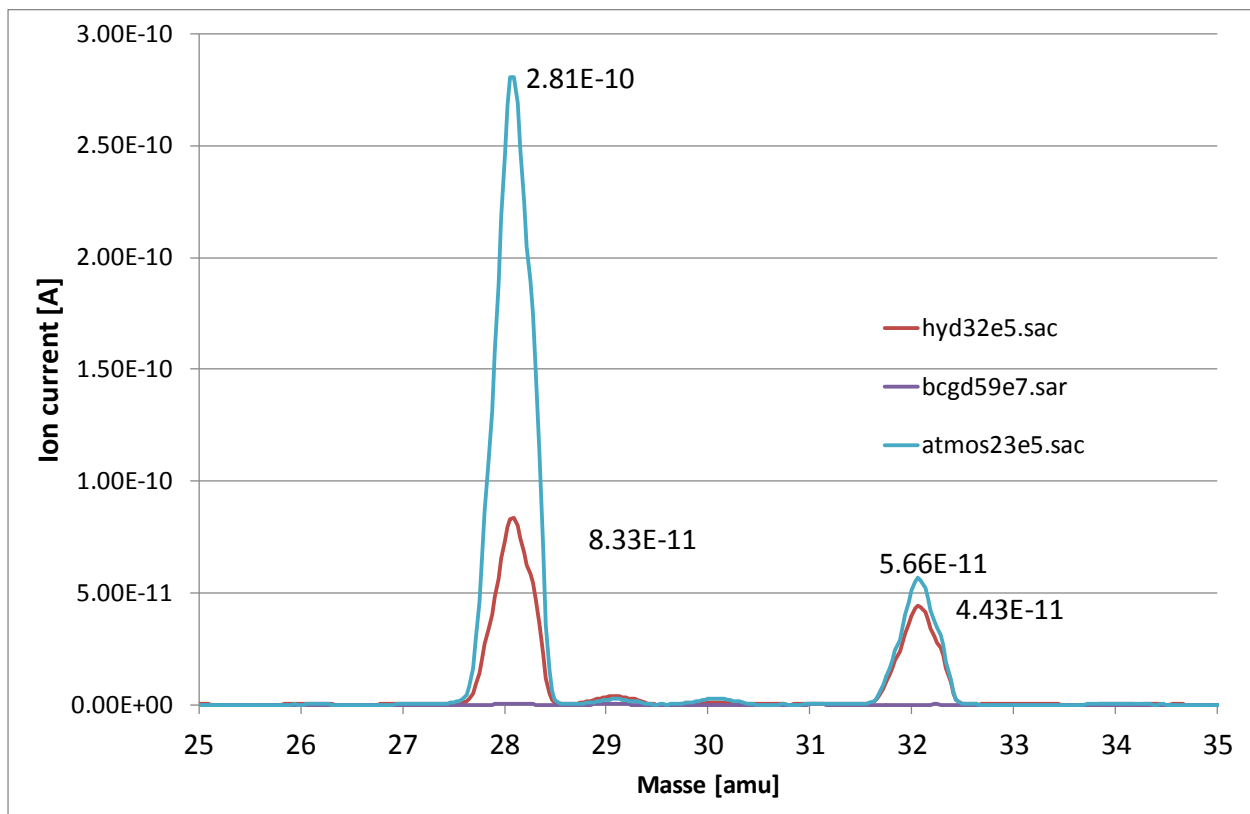
7. Ouverture de la 4 pour la mesure.

Le spectre mesuré (graphique 21) nous permet de quantifier les molécules désirées (H_2) et (O_2). A la masse de 2 amu on trouve l'hydrogène et à la masse de 32 amu on trouve l'oxygène. On peut remarquer que de l'oxygène est présent sur le spectre à la masse 32 mais aussi de l'azote à la masse 28. La présence de N_2 indique que de l'air ambiant s'est introduit dans le circuit. Après avoir cherché une fuite, il se trouve que le filtre entre l'électrolyseur et le spectromètre de masse n'était plus étanche.



Graphique 21: Spectre de la mesure d'hydrogène avec présence de la pollution O_2 . Ce spectre permet de comparer la quantité d'oxygène présente dans l'hydrogène

Pour que la mesure soit correcte, il faut déduire la contribution de O_2 due à la fuite.



Graphique 22: Spectre principale (zoomé sur de l'argon et de l'oxygène). Cela permet de déduire la fuite due au filtre de la mesure.

Pour cela il faut tout d'abord déterminer le ratio entre l'Azote et l'oxygène présent dans l'air (Graphique 22). Une mesure de l'air ambiant est effectuée (Bleu) et le ratio est calculé ainsi :

$$\frac{\text{Hauteur du Pic } N_2[A]}{\text{Hauteur du Pic } O_2[A]} = \frac{2.81 * 10^{-10}}{5.66 * 10^{-11}} = 4.96$$

Il y a donc 5 fois plus d'azote que d'oxygène dans l'air. Ceci est bien en accord avec la concentration connue de O_2 (20%) et N_2 (80%) de l'air ambiant.

Si on divise le pic d'azote de la mesure de l'hydrogène (rouge) par 5 on trouve la quantité d'oxygène qui vient de la fuite.

$$\frac{8.33 * 10^{-11}}{5} = 1.666 * 10^{-11}[A]$$

On peut ensuite soustraire l'oxygène de la fuite

$$(4.43 * 10^{-11}) - (1.67 * 10^{-11}) = 2.77 * 10^{-11}[A]$$

On peut ensuite comparer les deux pics pour trouver le pourcentage d'oxygène présent dans l'hydrogène de la façon suivante :

$$\frac{O2[A]}{H2[A]} * 100 = \%O2 = 4.9\%$$

En arrondissant, il y a donc 5% d'oxygène qui pollue l'hydrogène sorti de l'électrolyseur.

6.2 Méthaniseur

Différents tests sont effectués avec le méthaniseur en fonction des paramètres que l'on peut faire varier avec les bombonnes de gaz afin de trouver le point optimum de fonctionnement.

Mesure de la concentration de CH₄ en fonction :

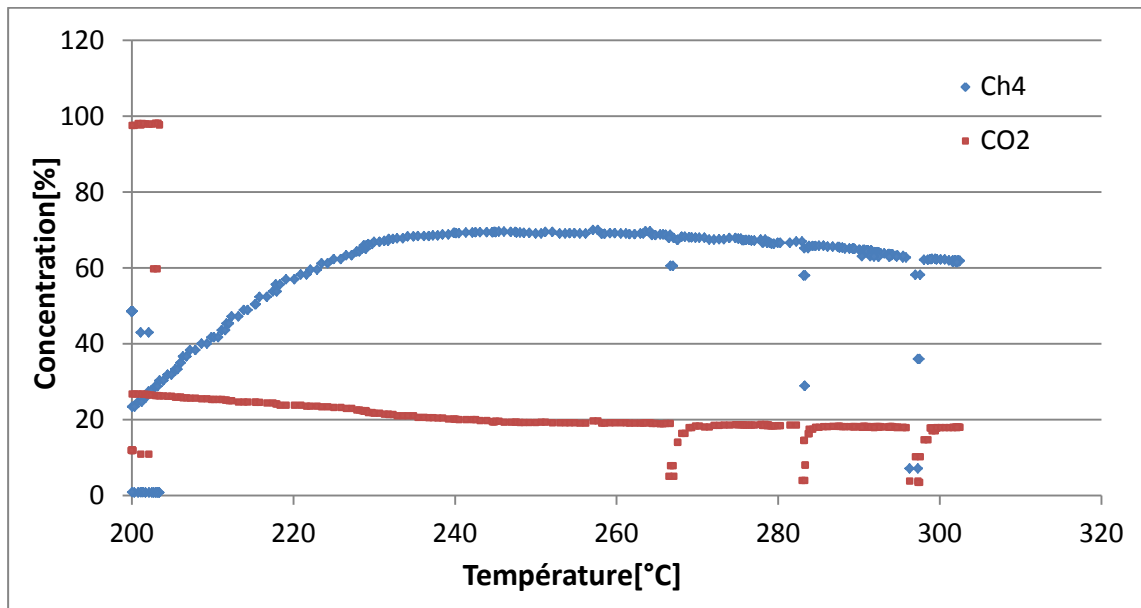
- de la température
- du ratio des débits de CO₂/H₂
- du débit total CO₂+H₂
- de la pression.

6.2.1 Influence de la température

Pour ce test les paramètres suivants ont été choisis :

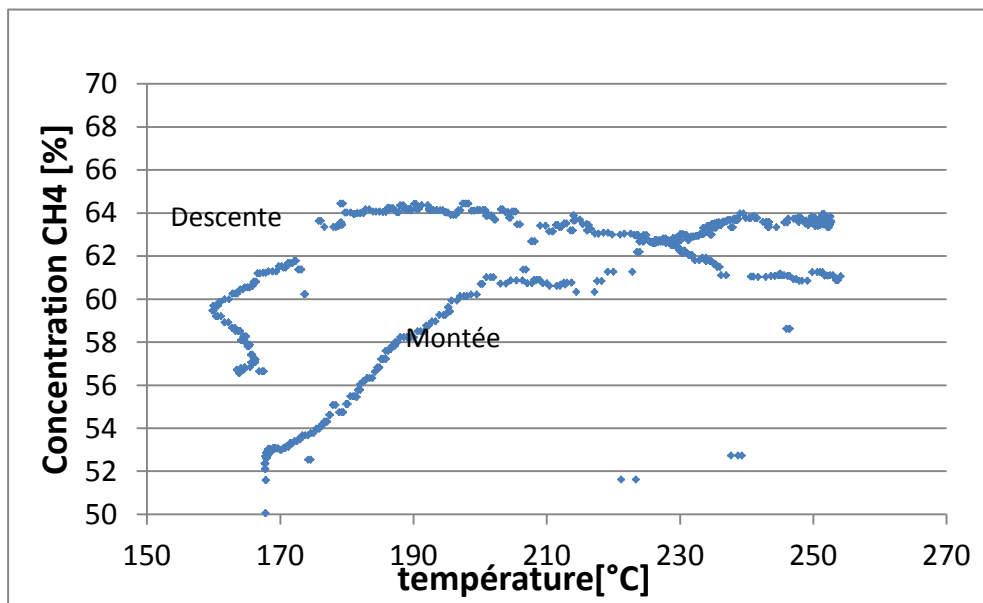
- Température : Variable
- Pression : atmosphère
- Débit H₂ : 1.5L/min
- Débit CO₂ : 0.45L/min

Le test a commencé à 200°C et s'est terminé à 300°C. On peut tout de suite constater que le point optimum de fonctionnement du méthaniseur se trouve à 245°C (voir graphique 23). Les Pics descendants à 265°C, 285°C, 295°C correspondent à un arrêt du flux de gaz pour vider l'eau dans le filtre due à la réaction de méthanisation.



Graphique 23: Concentration de méthane et de CO2 en fonction de la température variable. Essai à pression atmosphérique et avec un débit de H2 de 1.5L/min et CO2 de 0.45L/min

Un test en descente de température à été effectué Graphique 24. Pour cela il faut faire circuler de l'air frais à travers les parois du méthaniseur comme montré dans la figure 9. Ensuite la température à été augmentée une nouvelle fois pour confirmer les mesures. On remarque qu'en descente de température la température optimale se trouve vers les 190°C et pour la remontée on confirme les mesures du graphique 23 qui tend vers 245°C. Cette différence peut s'expliquer par le retard que prends le catalyseur en nickel (là ou se fait la réaction) à se refroidir par rapport à la sonde de température qui elle se trouve proche de l'entrée du gaz (plus froid) (voir figure 9).



Graphique 24: Descente de la température et observation de la concentration de méthane sortie du méthaniseur et remontée de la température pour confirmer le résultat de la figure 26.

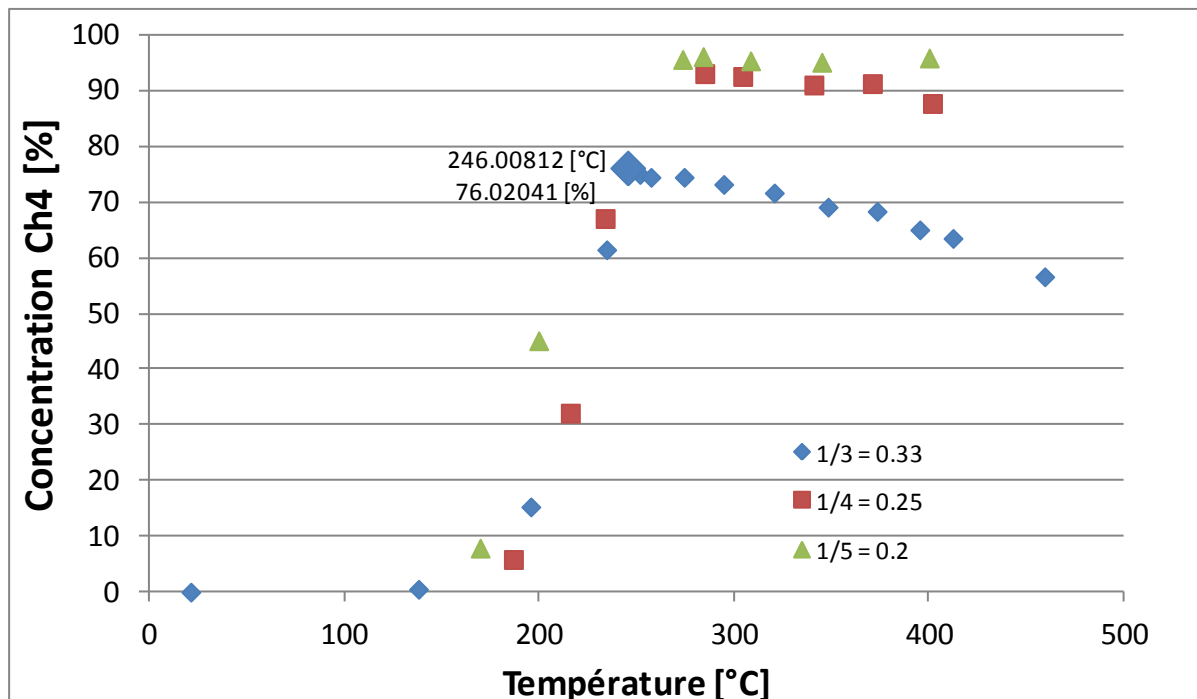
6.2.2 Influence du Débit

Il faut d'abord trouver le point optimum du ratio du débit CO₂/H₂

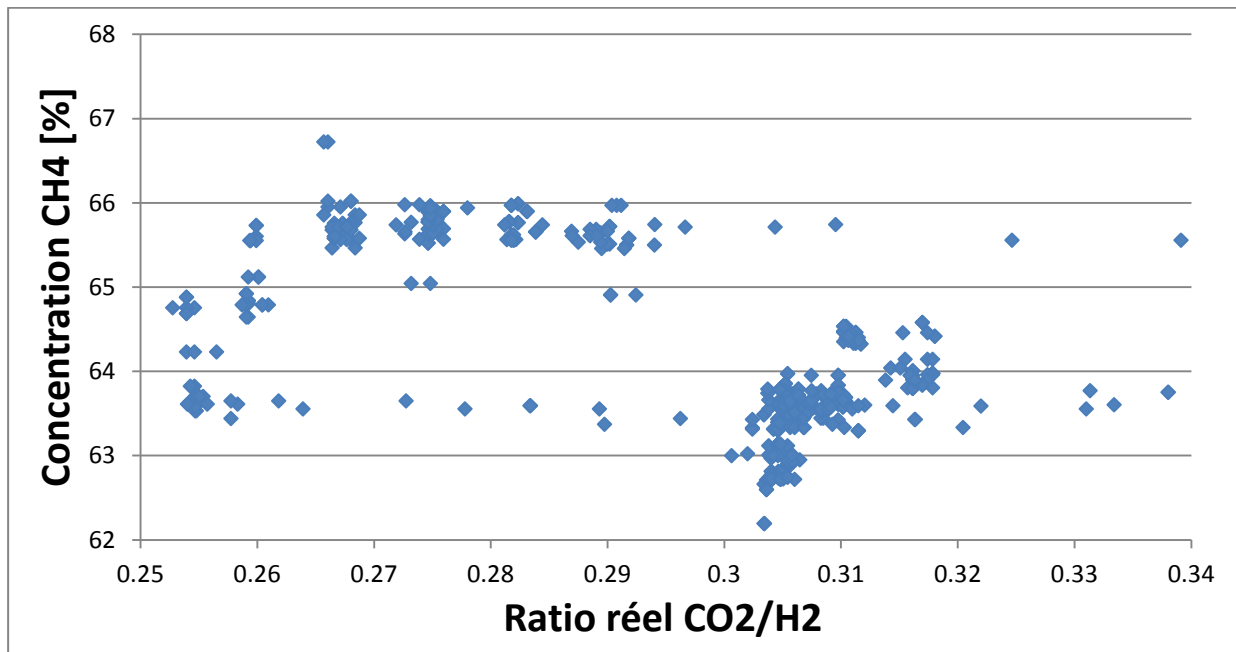
Pour ce test les paramètres suivants ont été choisis :

- Température : 245°C
- Pression : atmosphère
- Débit H₂ : 1.5L/min
- Débit CO₂ : Variable

Sur le graphique 26, on peut observer que le ratio du débit CO₂/H₂=0.27 est le plus optimum pour le fonctionnement du méthaniseur. Si on compare avec la littérature (graphique 25) les points optimaux sont entre 1/4=0.25 et 1/5 =0.2.



Graphique 25 : Concentration de méthane en fonction de la température et en fonction des ratios de débit CO₂/CH₄. Graphique venant d'une publication [Réf 6]



Graphique 26: Concentration de méthane pour une variation du ratio CO_2/H_2 sous pression atmosphérique, 245°C et avec un débit de H_2 de 1.5L/min.

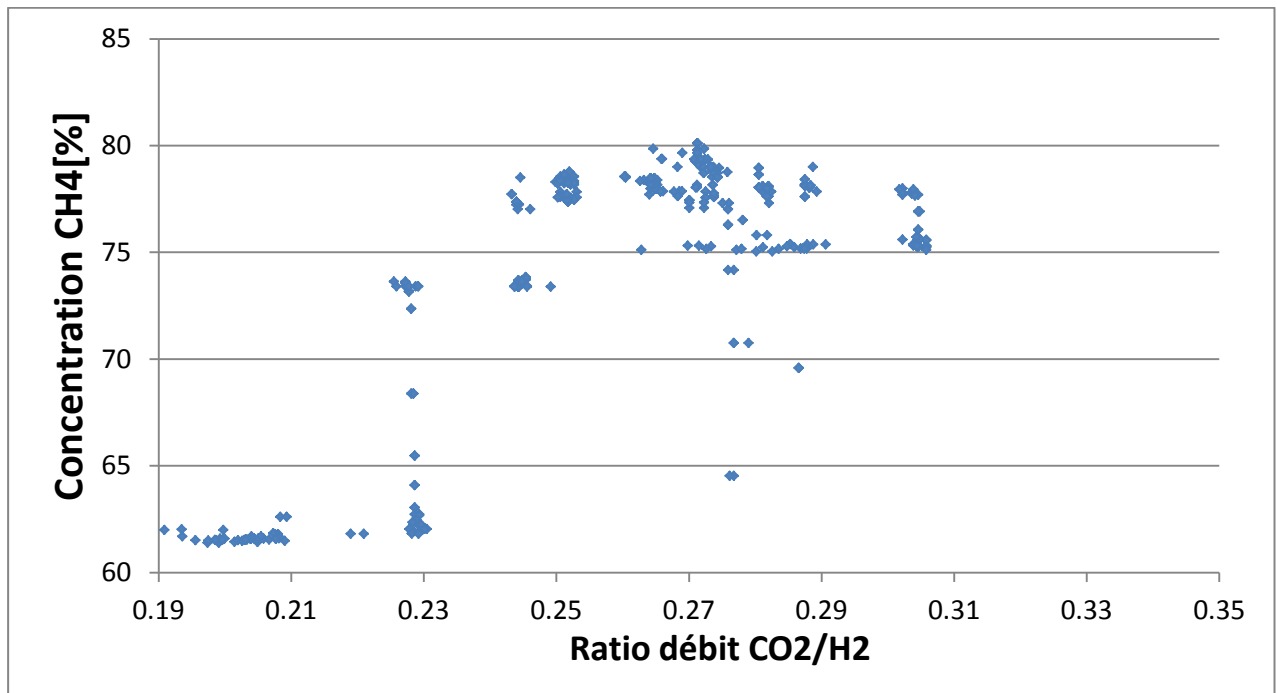
Les mesures risquent d'être faussées par les débitmètres fonctionnant dans leurs plages minimales. Des mesures doivent être refaites avec des instruments avec les bonnes plages.

Cette fois on augmente la pression pour voir si on déplace le ratio des débits CO_2/H_2 optimum.

Pour ce test les paramètres suivants ont été choisis :

- Température : 245°C
- Pression : 1.5bar
- Débit H_2 : 1.5L/min
- Débit CO_2 : Variable

On peut constater que le ratio optimal se retrouve inchangé malgré le changement de pression (voir graphique 27). Par contre la pression joue un rôle dans l'augmentation de la concentration de méthane.



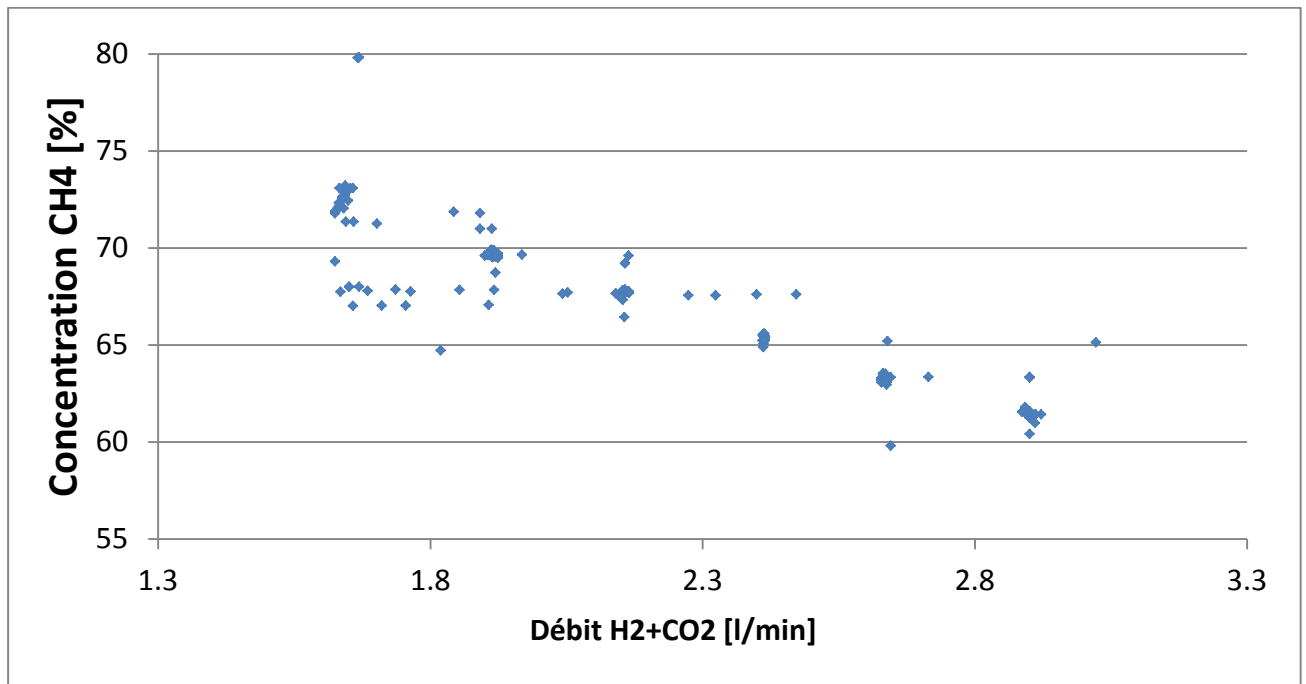
Graphique 27: Concentration de méthane pour une variation du ratio CO₂/H₂ avec 1.5bar de pression, 245°C et avec un débit de H₂ de 1.5L/min. Aucun changement du ratio optimal (0.27).

Ensuite Il faut trouver le point optimum pour le débit total H₂+CO₂

Pour ce test les paramètres suivants ont été choisis :

- Température : 245°C
- Pression : atmosphère
- Débit H₂ : Variable
- Débit CO₂ : Variable
- Ratio CO₂/H₂ : 0.27

On constate que plus on réduit le débit total plus la concentration de méthane augmente. Cela est dû au dimensionnement du méthaniseur. Il est sous-dimensionné pour transformer tout le débit de gaz. Les mesures n'ont pas pu être effectuées au dessous de 1.6 L/min. En cause, les plages de débit minimum des Massflow controller qui ne permettent pas d'aller en dessous de cette valeur. Par la suite chapitre 6.3, de nouveaux Massflow vont être installés et permettre de descendre au dessous de 1.2L/min.



Graphique 28: Concentration de méthane en fonction du débit total H2+O2 avec pression atmosphérique, 245°C. Plus on réduit le débit plus on augmente la concentration.

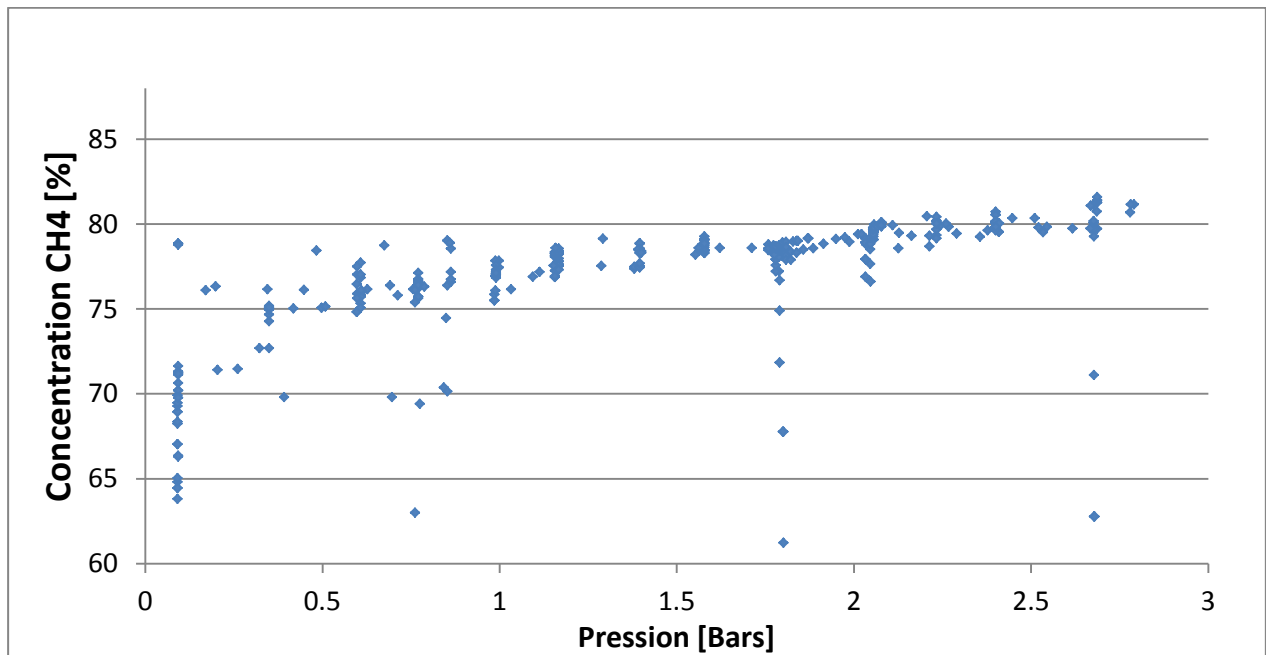
6.2.3 Influence de la pression

Il faut tracer la courbe de concentration de CH4 en fonction de la pression pour trouver le point optimum de fonctionnement du méthaniseur sous pression

Pour cet essai les paramètres suivants ont été choisis :

- Température : 245°C
- Pression : variable
- Débit H2 : 1.5
- Débit CO2 : 0.45

La figure 6 nous montre qu'en augmentant la pression on augmente nettement la concentration de CH4. On passe d'environ 66% de concentration à l'atmosphère à 80% à 2bar.

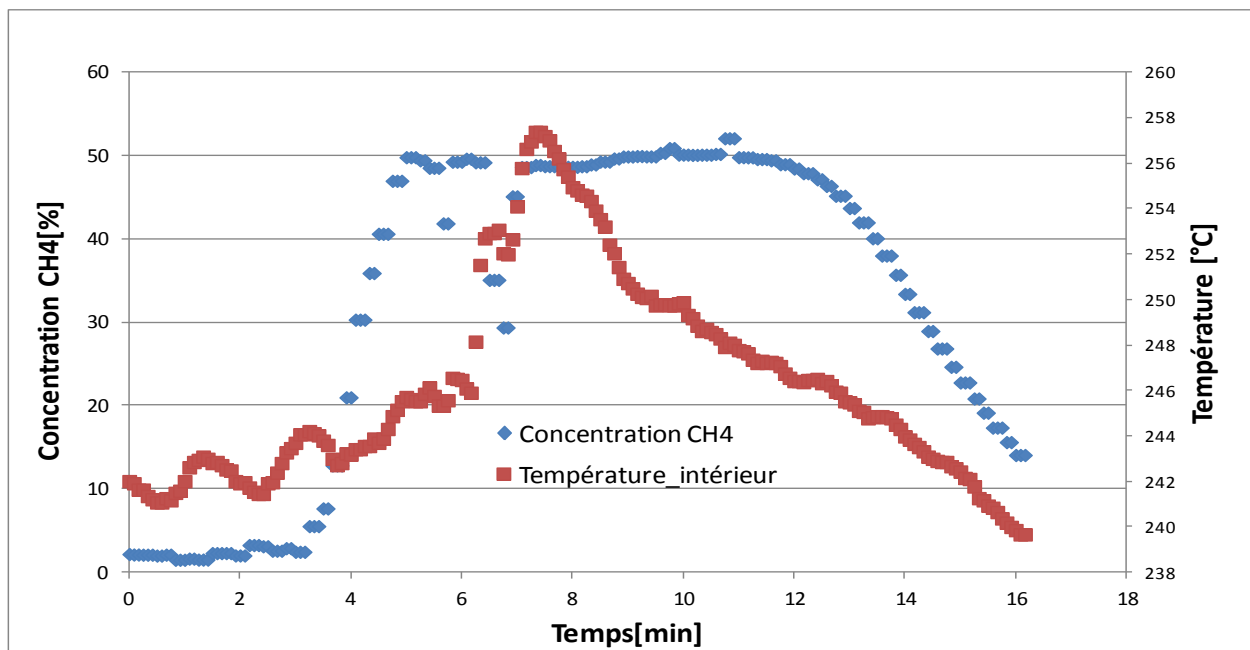


Graphique 29 : Concentration de méthane en fonction de la pression avec une température de 245°C, débit H2 de 1.5L/min et débit CO2 de 0.45L/min. La pression influence beaucoup la méthanation.

6.3 Mise en série de l'électrolyseur et du méthaniseur

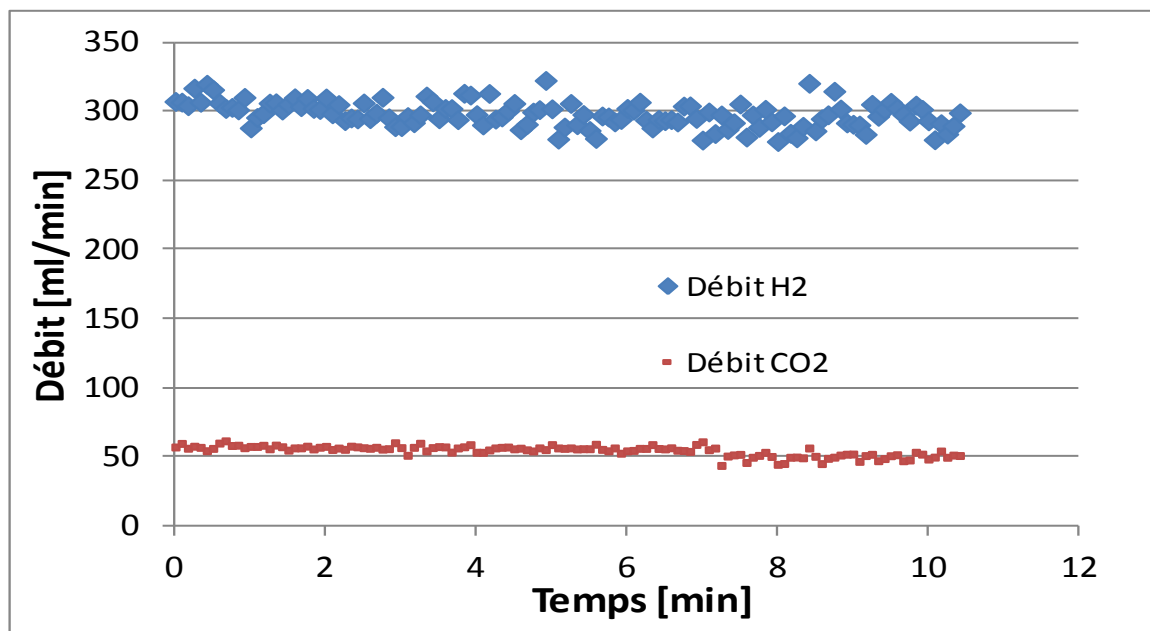
L'étape suivante est de relier l'électrolyseur et le méthaniseur pour être le plus proche du système power to gaz. Le débit d'hydrogène est fixé par l'électrolyseur. L'automate a été programmé pour avoir un ratio CO2/H2 de 1/5 il va donc ajuster le débit de CO2 pour avoir le bon ratio.

Un premier essai (graphique 30) a été effectué avec les Massflow non adapté aux plages de débits que délivre l'électrolyseur. C'est pour cela que l'on n'arrive pas à une concentration correcte de CH4. Par contre on peut observer l'exothermie (voir graphique 30) de la réaction dans le méthaniseur. Ceci se voit parce que la température augmente de 245°C à 258° entre 6 minutes et 8 minutes et que le chauffage était éteint. Ce phénomène est dû à la réaction de Sabatier voir chapitre 3.1 Dès que le méthaniseur a atteint 258°C on a refroidi le méthaniseur avec de l'air frais.



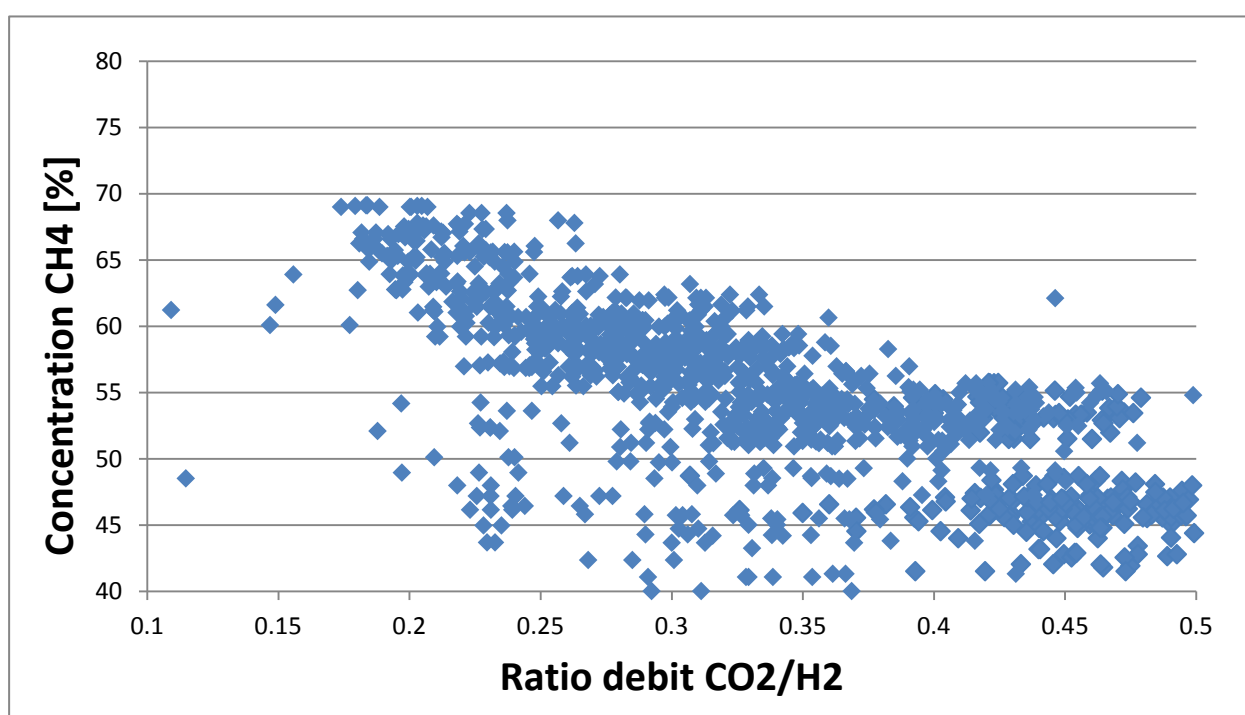
Graphique 30 : Premier essai de mise en série de l'électrolyseur et du méthaniseur. Concentration de 50% et exothermie de la réaction visible

Sur le graphique 31 on peut observer que le débit d'hydrogène délivré par l'électrolyseur n'est pas constant il varie d'environ $\pm 10\%$. Le débit de CO2 doit s'adapter avec un temps de retard à chaque mesures de débit d'hydrogène.



Graphique 31: Débit H2 que délivre l'électrolyseur et débit de CO2 régulé par les vanne Massflow. Le débit de l'électrolyseur n'est pas stable $\pm 10\%$. Electrolyseur : 8Volts, 45°C Méthaniseur : 245°C, atm

Vu que le débit de l'hydrogène n'est pas constant et que le débit de CO₂ est régulé avec du retard on retrouve les erreurs sur le graphique 32. On peut observer que la concentration varie beaucoup mais on peut observer une tendance d'augmentation de la concentration de CH₄ vers un ratio de débit CO₂/H₂ qui vaut 0.2 (voir graphique 25). Il faudrait faire plus de mesures dans les ratios plus bas que 0.2. On peut aussi comparer la concentration trouvée avec le méthaniseur et les bombonnes de gaz. Pour un fonctionnement avec les bombonnes à une pression atmosphérique on trouve une concentration maximale de 66%. Avec le système en série (électrolyseur + méthaniseur) on trouve aussi une concentration maximale de 66%. Les tests en pression n'ont pas pu être réalisés. Mais si on regarde le graphique 27 on pourrait théoriquement atteindre les 80% de concentration de méthane.



Graphique 32: Concentration de méthane en fonction du ratio du débit de CO₂/H₂. Electrolyseur 8Volts, 45°C
Méthaniseur 245°C, atm

6.3.1 Rendements

Le calcul de rendement est important pour comparer avec d'autres systèmes. Pour ces calculs la consommation de l'automate et des capteurs n'est pas prise en compte.

Pour commencer il faut calculer ce que consomme la partie électrolyseur (tableau 6) :

- L'énergie que consomment les pompes.
- L'énergie que consomme l'alimentation de l'électrolyseur.

Electrolyseur			
Puissance pompe	Energie pompe pendant 1h	Puissance électrolyseur	Energie électrolyseur pendant 1h
W	KWh	W	KWh
45	0.045	104.93	0.105

Tableau 6: Puissance et énergie consommée par l'électrolyseur calculé pendant 1 heure

Ensuite il faut faire exactement la même chose pour la partie méthaniseur (tableau 7) :

- L'énergie que consomme le chauffage

Méthaniseur	
Puissance chauffage	Energie chauffage 15% pendant 1h
W	Kwh
520.00	0.08

Tableau 7: Puissance et énergie consommée par le méthaniseur pendant 1 heure

La puissance de chauffage à été estimée à 15% du chauffage maximal, car il faut prendre en compte le chauffage de démarrage, le chauffage pendant la réaction et l' exothermie de la réaction.

On peut enfin comparer l'énergie que pourrait produire le gaz sortant avec l'énergie fournie. Ceci nous donnera un rendement (Tableau 8).

Il faut trouver le pouvoir calorifique du méthane [Réf 10]. Grâce à cela et au débit produit que l'on sait des débitmètres et à l'équation de Sabatier on peut savoir le volume de gaz produit en une heure. On peut donc trouver l'énergie du volume de gaz produit en une heure. On peut finalement comparer les deux valeurs et cela donne un rendement de 21.5%. Ces mesures ont été enregistrées avec une concentration de méthane de 66% si on passe à 80% théorique (augmentation de la pression à 1.5bar dans le méthaniseur) on atteint les 26.1%. On est encore loin des 51–65% donnés dans la littérature [Réf 12].

Total				
Pouvoir calorifique methane	Débit méthane	Energie gaz	Energie met+elec	Rendement
Kwh/m3	m3 en 1 heure	KWh	KWh	%
10.00	0.006	0.06	0.27	21.5

Tableau 8: Rendement du système Power to gaz

VII. AMÉLIORATIONS

Les améliorations proposées permettront d'augmenter le rendement du système power to gaz existant.

7.1 Electrolyseur

- **Les pompes de l'électrolyseur :** Comme vu dans les résultats (graphique 11) plus la température est haute plus le rendement de l'électrolyseur est bon. Pour l'instant les pompes ne peuvent pas fonctionner à une température plus haute que 50°C. Il faudrait idéalement pouvoir monter jusqu'à 80°C. La solution serait de demander à l'entreprise Gotec si elle pourrait fabriquer des pompes résistantes au KOH et aussi à une température de 80°C.
- **Les corps de chauffe :** En faisant tourner les pompes et en chauffant au maximum les dégazeurs la température maximale enregistrée dans l'électrolyseur est de 45 °C. Il faudrait pouvoir monter jusqu'à 80°C. Pour cela il serait préférable de commander des corps de chauffe plus puissant que 64W et aussi mieux isoler les composants.
- **Les dégazeurs :** Les dégazeurs sont beaucoup trop petits par rapport à la mousse créée lors de l'électrolyse. Cela a pu être observé par la présence de mousse dans le tuyau d'expulsion des gaz. Il faudrait donc l'agrandir et aussi concevoir un design de dégazeur plus performant pour séparer le liquide du gaz.
- **Les problèmes de la réaction d'électrolyse :** La réaction entraîne une réduction de la quantité d'eau du côté H₂ donc augmentation du PH et l'augmentation de la quantité d'eau du côté O₂ donc diminution du Ph. Ce phénomène va réduire le rendement de l'électrolyseur. Il faudrait installer des capteurs de Ph et lorsqu'il y a une trop grande différence entre les deux circuits, lancer une alarme qui permettra de savoir quand il faut rééquilibrer les deux flux.
- **La pression :** Augmenter la pression des deux côtés du circuit en même temps est difficile. D'une part le débit de gaz sortant de chaque côtés est différents d'autre part il faut faire attention de ne pas déchirer le diaphragme en Zirfon en déséquilibrant les pressions. Pour l'instant l'installation permet de monter en pression mais manuellement avec deux soupapes de décharge. Il faudrait installer des soupapes de décharge électronique pour monter doucement en pression et éviter de déchirer la membrane. La montée en pression est importante car l'électrolyseur est en aval du méthaniseur. Si on veut faire fonctionner le méthaniseur à 1.5 bar (fonctionnement optimal) Il faut qu'en aval l'électrolyseur soit plus haut en pression. La bouteille de gaz n'est pas un problème car elle peut monter bien plus haut en pression.
- **Les électrodes :** La comparaison avec le projet phoebus-julich [Réf 9] a permis de démontrer que le rendement augmentait avec l'utilisation d'une anode en NI, CO, FE et d'une cathode en Ni, C-Pt) (voir tableau 5 de comparaison entre l'électrolyseur de projet phoebus et celui construit dans ce projet)

- **Diaphragme** : la comparaison avec le projet Phoebus-Julich [Réf 9] a démontré une augmentation du rendement de l'électrolyse en utilisant un diaphragme en NiO (céramique) comparé au Zirfon [Réf 2] utilisé dans ce projet.
- **Zerogap** : La distance entre l'électrode et la membrane semble jouer un rôle dans le rendement de l'électrolyseur. Il faudrait repenser la conception mécanique de l'électrolyseur pour réduire considérablement cet espace.
- **Courant entre 0.5 et 1.5V** : Il faudrait étudier plus en détail le courant traversant l'électrolyseur entre 0.5 et 1.5V.

7.2 Méthaniseur

- **Régulation de la température intérieure** : Pour l'instant la régulation de la température se fait avec le capteur de température extérieur au méthaniseur (à côté du corps de chauffe) c'est-à-dire que la température de consigne est celle du cordon de chauffe. Dans l'avenir il faudrait pouvoir réguler avec le capteur de température intérieur pour être plus stable dans la chambre de méthanisation. Pour cela il faut connaître l'inertie complète du système et régler le régulateur en conséquence.
- **Le catalyseur** : Il faudrait changer le catalyseur et essayer de faire des essais avec le méthaniseur rempli complètement

VIII. CONCLUSION

Au terme de ce projet, le démonstrateur Power to gas (électrolyseur mis en série avec le méthaniseur) est fonctionnel et permet d'obtenir du méthane. L'acquisition, la gestion des données, l'interface permettent de visualiser les valeurs physiques de l'ensemble des capteurs présents dans le système et agir avec les actionneurs. Des modes d'emplois claires ont été rédigés afin de facilement mettre le démonstrateur en fonction.

La caractérisation met en évidence que l'électrolyseur produit 95% d'hydrogène dont 5% de pollution d'oxygène. Le méthaniseur arrive à fabriquer par transformation 80% de méthane.

Les expériences montrent que le rendement de l'électrolyseur peut être amélioré grâce à quelques changements dans la conception et les matériaux.

L'évaluation énergétique basée sur les paramètres mesurés donne un rendement autour des 20% pour le système power to gas construit.

IX. REFERENCE

- [1] Alain DAMIEN Ingénieur des Arts et Manufactures Ingénieur-chercheur Électricité de France (EDF), Hydrogène par électrolyse H₂ de l'eau
- [2] Ph. VERMEIREN, W. ADRIANSEN, J. P. MOREELS and R. LEYSEN, EVALUATION OF THE ZIRFON SEPARATOR FOR USE IN ALKALINE WATER ELECTROLYSIS AND Ni-H, BATTERIES, 1998
- [3] Anthony Gaspoz, Nicolas Bonvin, Sébastien Luisier, David Constantin , 2014 , Rapport Pga Power to gaz, Hesso Valais,
- [4] David Constantin , Rapport de semestre Power to gaz, 2015, Hesso valais
- [5] Réaction sabatier, Wikipedia,
[HTTPS://FR.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/R%C3%A9action de SABATIER](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_de_sabatier)
- [6] V. Barbarossa, G. Vanga "Casaccia" - ENEA, -METHANATION OF CARBON DIOXIDE
- [7] Christian Junaedi¹, Kyle Hawley², Dennis Walsh³ and Subir Roychoudhury⁴, Precision Combustion, Inc,- Compact and Lightweight Sabatier Reactor for Carbon Dioxide Reduction
- [8] Nickel provenant de l'Empa (Andreas Borgschulte) et envoyé à l'Epfl (Prof. Jan Van Herle epfl)
- [9] Ilystein Ulleberg , Institute for Energy Technology Norway, 2003, Modeling of advanced alkaline electrolyzers: a system simulation approach
- [10] Pouvoir calorifique du méthane, <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thane>
- [11] Jérémie Bérard, Hess-So Valais, 2014 Projet de semestre Méthanisations semi-automatique pour stockage d'énergie
- [12] Dr.-Ing. Michael Sterner, M.Sc. Mareike Jentsch, Dipl.-Ing. Uwe Holzhammer, 2011 Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes

X. ANNEXES

1. Mode d'emploi : Electrolyseur et Méthaniseur
2. Mode d'emploi : Ajout variables de mesure et de consigne
3. Mode d'emploi : Démarrage Opus
4. Mode d'emploi : Démarrage labview
5. Mode d'emploi : Mise en marche générale
6. Liste du matériel
7. Datasheet du matériel

XI. REMERCIEMENTS

Je remercie Christoph Ellert pour sa proposition de sujet et son suivi tout au long du projet.

Merci aussi à M. David Martinet pour ses conseils lors du montage et des mesures de l'installation.

Merci enfin aux personnes présentes à l'atelier mécanique pour m'avoir toujours bien conseillé.

XII. DATE ET SIGNATURES

Sion, le 9 Juillet 2015.

David Constantin

Mode d'emploi Mise en marche général

1. Branchez les 2 prises blanches
2. Allumer l'ordinateur
3. Lancer labview (voir mode d'emploi Labview)
4. Lancer Opus (voir mode d'emploi OPUS)
5. Lancez dans l'interface labview le chauffage du méthaniseur à 305°C (cela prends 1heure)
6. Ouvrir la bombonne de CO₂
7. Cliquez sur le bouton de l'interface pour se mettre en mode AutoCO₂
8. Inscrivez le ratio CO₂/H₂ désiré
9. Cliquez sur le bouton de l'interface pour se mettre en mode Elec+Meth
10. Inscrivez 500ml/min pour la consigne de débit d'hydrogène (C_D_H₂)
11. Suivez le mode d'emploi de l'électrolyseur
12. Choisir la tension désirée aux borne de l'électrolyseur
13. Surveillez que la température de l'électrolyseur ne dépasse pas 45°C
14. Surveillez que la température du méthaniseur ne dépasse pas 300°C
15. Surveillez que l'électrolyte circule dans l'électrolyseur
16. Surveiller les filtres qu'ils ne débordent pas

Mode d'emploi Démarrage Labview

1. Allez dans CRioMéthanation(169.254.7.183)/Châssis(Crio-9074)/FPGA Target(RIO0,CRiO-9074/Main_FPGA.vi et lancez le.
2. Allez dans CRioMéthanation(169.254.7.183)/Main_cpu.vi et lancez-le.
3. Allez dans MyComputer/main.vi et lancez-le.

Nb : Dans l'onglet Historical_data du main se trouve l'interface pour exporter les données.

Pour plus d'information veuillez lire le rapport Pga2014 Power to gaz [Ref3]

Mode d'emploi Démarrage Opus

1. Ouvrir Opus.exe
2. Choisir Administrator, mot de passe : OPUS en majuscule
3. Faire passer gaz indétectable dans le FTIR avec beaucoup de débit
4. Aller dans mesure avancée dans le rectangle bleu.
5. Cliquez sur mesure Background
6. Quand la mesure est finie coupez le gaz
7. Appuyez dans l'onglet en haut au milieu de l'écran sur Exécuter macro
8. Choisir Macro_CO2_CH4.mtx

Mode d'emploi : ajout variables de mesure et de consigne

Ajout de variables pour affichage sur le main

1. Aller dans CRioMéthanation(169.254.7.183)/Variables_globales.vi
2. Créer une variable en faisant copier coller et renommer.
3. Aller dans CRioMéthanation(169.254.7.183)/Subvis/Aquisition.vi
4. Connecter la variable au port choisi. Soit input, output, ou Thermocouple
5. Aller dans CRioMéthanation(169.254.7.183)/Subvis/calcul CPU
6. Il y a deux étapes :
 - Si mesure : connecter variable à Inputpacket
 - Si consigne : connecter variable à PC_CPU_Packet
7. Aller dans MyComputer/main.vi
8. Si mesure : faire comme les autres variables pour sortir du tableau Inputpacket
Si Consigne : faire comme les autres variables pour entrer dans le tableau PC_CPU_Packet

Ajout variable à la base de donnée

1. Cliquez droit dans Projet/MyComputer/data.lvlib
2. Cliquez New/Variable
3. Nommez la variable
4. Aller dans l'onglet loggin et cochez enable logging.
5. Mettez Variable résolution à 0.001
6. Mettez Value Deadband à 0.01%
7. Cliquez droit sur data.Lvlib
8. Choisissez deploy all
9. Sauvegardez tout le projet
10. Allez dans MyComputer/main.vi
11. Au fond du programme allez dans Display management/Process/2[0.....3]
12. Ajouter la variable avec son juste nom comme les autres variables roses. Attention de mettre dans le bon tableau de variable physique. Exemple : température, pression etc.
13. Recommencez à l'étape 11 pour Display management/Real time thread /2[0.....3] et Display management/Historical Trend /2[0.....3]
14. La variable sera dès lors enregistrée dans la base de donnée et apparaîtra dans les graphiques du main

Changement des paramètres du chauffage

1. Ouvrir CRioMéthanation(169.254.7.183)/Subvis/calcul CPU
2. Changer les paramètres Kp,Ti,Td

Mode d'emploi Electrolyseur et Méthaniseur

Allumer méthaniseur :

1. Faire chauffer le méthaniseur à 305°C pour avoir 245° à l'intérieur.
2. Ne fait passer un gaz seulement au dessus de 200°C
3. Vérifier de ne pas dépasser 8 bars de pression. (Saturation du capteur de pression 10bars)

Allumer électrolyseur :

1. S'assurer que tous les raccords soient serrés, que la conduite de sortie du gaz O2 soit dirigée vers la ventilation. Vérifier que la conduite de H2 soit branchée au circuit.
2. Enclencher les pompes pour le circuit.
3. Remplir si pas assez de liquides (estimer)
4. Enclencher l'alimentation de l'électrolyseur.
Output sur Off
Lumière sur commande courant et tension allumée
5. Ouverture complète des vannes de décharge.
6. Surveiller les pressions des 2 canaux. Elles doivent être égales pour ne pas déformer la membrane en zirfon.
7. Surveiller la température du circuit et ne pas dépasser **45°**
8. Possibilité de chauffer les réservoirs avec labview.



Tylan[®] FC260/FM360 Mass Flow Controllers and Flowmeters

Low cost mass flow controllers with long-term repeatability and performance



Process Values

Designed to meet the exacting requirements of semiconductor processes and equipment, the Tylan FC260 and Tylan FM360 models are premium quality elastomer-sealed mass flow controllers and meter. These MFCs combine proven components and techniques with innovative concepts in both mechanical and electrical design.

Excellent Performance

Tylan FC260 and FM360 mass flow controllers and flowmeters accurately and reliably measure and control flow rates of gases up to 200 standard liters per minute without the need for pressure or temperature corrections.

Product Features

Attitude Insensitive Flow Sensor

Superior Bypass Design to Operate under Laminar Flow Conditions

Solid State Valve Assembly Constructed of Type 316 Stainless Steel

Laminar Flow

Product Benefits

Eliminates air convection currents inside its case without sacrificing response speed.

Can be mounted in any position without requiring zero adjustment.

Assures accuracy over the entire range of mass flow controller.

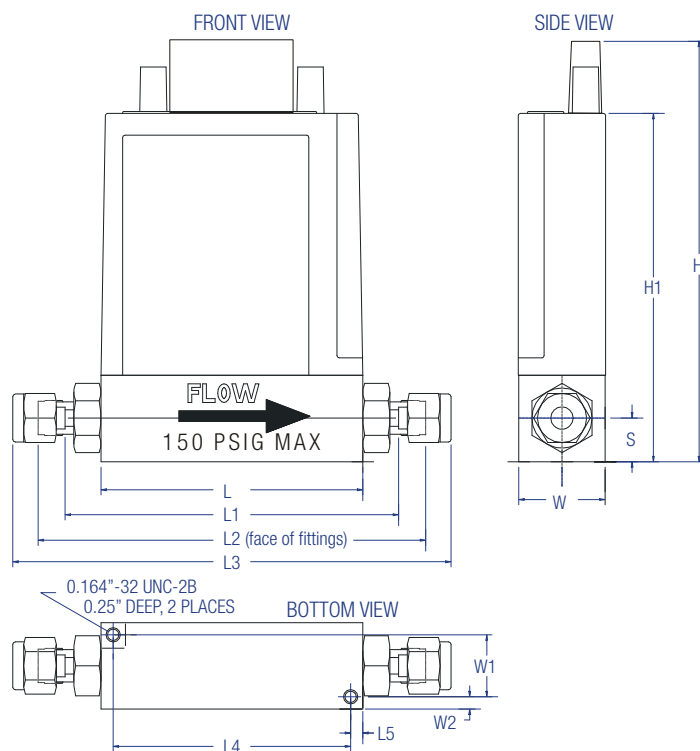
Easily removed for range changes.

Completely compatible with reactive and corrosive materials.

Design eliminates internal dead volumes.

Eliminates the need for complex, interactive multi-point linearization during calibration

Tylan FC260/FM360 MFCs and Flowmeters - Ordering Information



FC-260/FM-360

Fittings		H	H1	W	W1	W2	L	L1	L2	L3	L4	L5	S
2S	in mm	5.38 136.7	4.00 101.6	1.00 25.4	0.72 18.3	0.14 3.56	3.00 76.2	3.82 97.0	4.38 111.3	4.94 125.5	2.72 69.1	0.14 3.56	0.50 12.7
4S	in mm							3.82 97.0	4.44 112.7	5.03 127.8			
4VCO	in mm							-	4.55 115.6	-			
4V	in mm							-	4.88 123.9	-			

FC-261/FM-361

Fittings		H	H1	W	W1	W2	L	L1	L2	L3	L4	L5	S
4S	in mm	5.63 143.0	4.25 108.0	1.25 31.8	0.97 24.6	0.14 3.56	4.25 108.0	5.16 131.0	5.78 146.8	6.36 161.5	3.55 90.1	0.35 8.9	0.575 14.6
4V	in mm							-	6.19 157.2	-			
4VCO	in mm							-	5.86 148.8	-			
6S	in mm							5.17 131.3	5.90 149.8	6.48 164.5			
6V	in mm							-	6.50 165.1	-			

FC-262/FM-362

Fittings		H	H1	W	W1	W2	L	L1	L2	L3	L4	L5	S
4V	in mm	7.13 181.1	5.75 146.1	1.50 38.1	1.00 25.4	0.25 6.35	5.255 133.5	6.25 158.8	6.87 174.6	7.45 189.3	4.00 101.6	0.62 15.75	0.585 14.8
6S	in mm							6.27 159.3	7.57 192.3	7.59 192.7			
6V	in mm							-		-			
6VCO	in mm							-	7.10 180.2	-			

2S = 1/8-inch Swagelok®

4S = 1/4-inch Swagelok

4V = 1/4-inch VCR®

4VCO = 1/4-inch VCO®

6S = 3/8-inch Swagelok

6V = 3/8-inch VCR

6VCO = 3/8-inch VCO

Tylan FC260/FM360 MFCs and Flowmeters - Ordering Information

Performance

Gases	Any gas with a known conversion factor
Step Response Time	6 seconds (dependent on step request and conditions)
Accuracy	± 1% of full scale ± 2% of full scale for the FC262
Linearity	0.5% of full scale
Repeatability	± 0.2% of full scale
Attitude Sensitivity	Not sensitive
Control Range	50:1 (100% - 2%) FC262 50:2 (100% - 4%)

Mechanical

Materials	Type 316 Stainless Steel, Viton®, Kalrez®, or Neoprene Seals depending on gas application
Leak Integrity	1 x 10 ⁻⁹ atm cc/sec He

Electrical

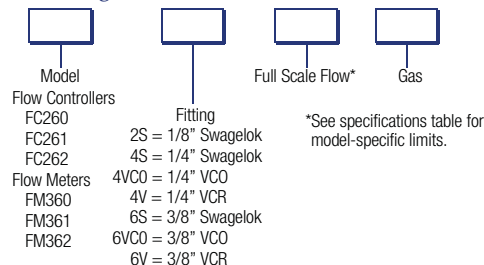
Analog Output	0 - 5 VDC (5 volts = full scale)
Input Power	Flow Controllers: + 15 VDC ± 4%, 25 mA max - 15 VDC ± 4%, 180 mA max Flow Meters: + 15 VDC ± 4%, 25 mA max - 15 VDC ± 4%, 25 mA max
Power Consumption	Flow Controllers: 4.0 watts maximum Flow Meters: 1.5 watts maximum
Command Signal	Flow Controllers: 0 - 5 VDC (2.5 k ohms max source impedance) 40-20 mA optional (contact Mykrolis)
Minimum Load Resistance	2000 ohms

Environmental

Temperature Range	5 - 43° C (40 - 110° F)
Temperature Coefficient	± 0.1% / ° C
Pressure Coefficient	± 0.007% / psi

Note: In accordance with SEMI Standard E12-91, Standard Temperature is 0° C and Standard Pressure is 760 mm Hg (14.7 psia).

Ordering Information



	Flow Controllers			Flow Meters		
Model	FC260	FC261	FC262	FC360	FC361	FC362
Full Scale Range	10 sccm - 5 slm	6 - 20 slm	30 - 200 slm	10 sccm - 5 slm	6 - 20 slm	30 - 200 slm
Pressure Drop	10 - 40 psid	15 - 40 psid	20 - 40 psid	0.5 psid at full scale flow		
Gas Pressure	30 psig optimum 150 psid max		40 psig optimum 150 psid max	500 psid max		
Gas Fittings	1/8" or 1/4"	1/4"	1/4" or 3/8"	1/8" or 1/4"	1/4"	1/4" or 3/8"
Weight	500 gm (1.1 lb)	954 gm (2.1 lb)	2.77 kg (5.0 lb)	454 gm (1.0 lb)	907 gm (2.0 lb)	2.15 kg (4.75 lb)

Consult our applications specialists with any questions.

Tylan is a registered trademark of Mykrolis Corporation.

Mykrolis and the Mykrolis logo are trademarks of Mykrolis Corporation.

Kalrez and Viton are trademarks of DuPont Dow Elastomers, L.L.C.

Swagelok is a trademark of Crawford Fitting Company.

VCO and VCR are trademarks of Cajon Company.

Legal/Trademarks: www.mykrolis.com/corporate.nsf/docs/legal

Worldwide Offices: www.mykrolis.com/corporate.nsf/docs/worldwide

UNITED STATES OF AMERICA

(+1) 978-436-6500 Billerica, MA

(+1) 972-359-4000 Allen, TX

EUROPE

(+33) 4-76-35-73-50

ASIA

(+65) 6 745-2422

JAPAN

(+81) 3-5442-9718 Tokyo

(+81) 92-471-8133 Kyushu

(+81) 6-6390-0594 Osaka

Models with Single Output

Order Code	Case Type	Output Power max.	Output Voltage nom.	Output Current max.
TXL 060-3.3S TXL 060-05S TXL 070-12S TXL 070-15S TXL 070-24S TXL 070-48S	E	60 / 70 Watt	3.3 VDC 5 VDC 12 VDC 15 VDC 24 VDC 48 VDC	15.0 A 12.0 A 6.0 A 4.8 A 3.0 A 1.5 A
TXL 100-3.3S TXL 100-05S TXL 100-12S TXL 100-15S TXL 100-24S TXL 100-48S	J	100 Watt	3.3 VDC 5 VDC 12 VDC 15 VDC 24 VDC 48 VDC	23.0 A 20.0 A 8.5 A 7.0 A 4.3 A 2.3 A
TXL 150-05S TXL 150-12S TXL 150-24S TXL 150-48S	L	150 Watt	5 VDC 12 VDC 24 VDC 48 VDC	30.0 A 12.5 A 6.3 A 3.2 A
TXL 230-12S* TXL 230-24S* TXL 230-48S*	N	230 Watt	12 VDC 24 VDC 48 VDC	19.2 A 9.6 A 4.8 A
TXL 350-24S* TXL 350-48S*	O	350 Watt	24 VDC 48 VDC	14.7 A 7.5 A
TXL 750-24S* TXL 750-48S*	P	750 Watt	24 VDC 48 VDC	31.3 A 15.8 A
TXL 1000-24S* TXL 1000-48S*	Q	1000 Watt	24 VDC 48 VDC	40.0 A 21.0 A

* with internal fan (see dimensions)

Models with Multiple Output

Order Code	Case Type	Output Power max.	* Output1 (Main Output)	* Output 2	* Output 3
TXL 035-0512D TXL 035-0524D TXL 035-1212D TXL 035-1515D	D	35 Watt	+5 VDC/ 4.0 A +5 VDC/ 4.0 A +12 VDC/ 3.0 A +15 VDC/ 2.4 A	+12 VDC/ 2.5 A +24 VDC/ 1.3 A -12 VDC/ 1.5 A -15 VDC/ 1.5 A	
TXL 060-0512DI TXL 060-0524DI TXL 060-0521TI TXL 060-0522TI TXL 060-0533TI TXL 060-0534TI	E	60 Watt	5 VDC/ 8.0 A 5 VDC/ 6.0 A 5 VDC/ 8.0 A 5 VDC/ 7.0 A 5 VDC/ 7.0 A 5 VDC/ 6.0 A	12 VDC/ 4.0 A 24 VDC/ 2.2 A 12 VDC/ 3.5 A 12 VDC/ 3.5 A 15 VDC/ 3.0 A 12 VDC/ 1.5 A	5 VDC/ 1.0 A 12 VDC/ 1.0 A 15 VDC/ 1.0 A 24 VDC/ 1.2 A
TXL 100-0512DI TXL 100-0524DI TXL 100-0521TI TXL 100-0522TI TXL 100-0533TI TXL 100-0534TI	J	100 Watt	5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A	12 VDC/ 7.0 A 24 VDC/ 3.5 A 12 VDC/ 5.0 A 12 VDC/ 5.0 A 15 VDC/ 4.0 A 12 VDC/ 4.0 A	5 VDC/ 1.5 A 12 VDC/ 1.5 A 15 VDC/ 1.5 A 24 VDC/ 2.0 A

* Total power must not exceed specified max. output power

EXCELON®72
Pressure Relief Valve
1/4", 3/8" Port Size

- EXCELON design allows in-line or modular installation
- Push to lock adjusting knob with tamper resistant accessory
- Helps protect air operated equipment from over pressure by retarding excessive pressure build up
- Modular installations with EXCELON 72, 73, and 74 series can be made to suit particular applications


Technical Data

Fluid: Compressed air

Operating Temperature*: -20° to +65°C (-4° to +150°F)

* Air supply must be dry enough to avoid ice formation at temperatures below +2°C (+35°F).

Gauge Ports:

- 1/8" PTF with PTF main ports
- 1/8" ISO Rc with ISO Rc main ports
- 1/8" ISO Rc with ISO G main ports

Exhaust Port:

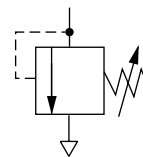
- 1/4" PTF with PTF main ports
- 1/4" ISO Rc with ISO Rc main ports
- 1/4" ISO Rc with ISO G main ports

Materials:

- Body: Zinc
- Bonnet: Acetal
- Valve: Brass
- Elastomers: Neoprene
- Bottom Plug: Acetal

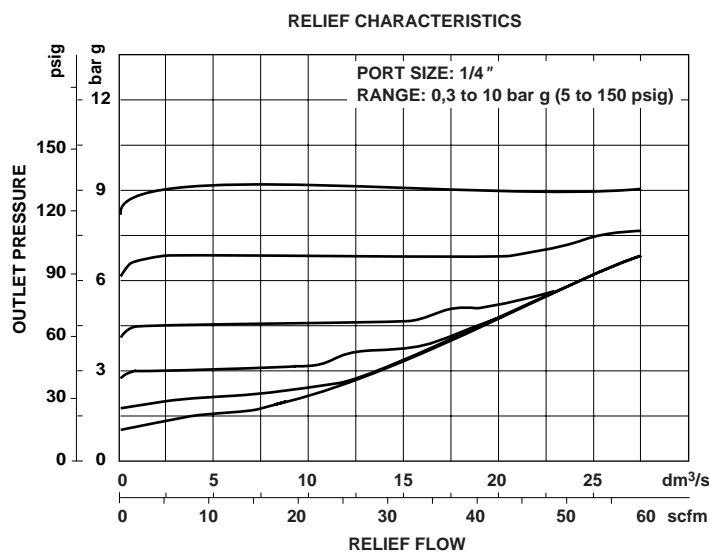
Ordering Information

See *Ordering Information* on the following pages.

ISO Symbol




Typical Performance Characteristics



Ordering Information. Models listed include ISO G threads, knob adjustment, and a 0,3 to 10 bar (5 to 150 psig) outlet pressure adjustment range*.

Port Size	Model	Weight kg (lb)
G1/4	V72G-2GK-NMN	0,33 (0.73)
G3/8	V72G-3GK-NMN	0,33 (0.73)

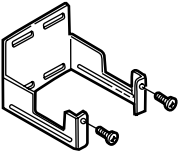
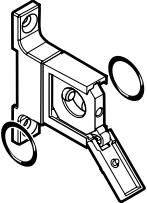
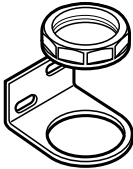

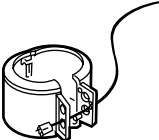
Alternative Models


Port Size	Substitute	Threads	Substitute	Gauge	Substitute	Outlet Pressure Adjustment Range*	Substitute	Adjustment	Substitute
1/4"	2	PTF	A	With	G	0,3 to 2 bar (5 to 30 psig)	C	Knob	K
3/8"	3	ISO Rc taper	B	Without	N	0,3 to 4 bar (5 to 60 psig)	F	T-bar	T
		ISO G parallel	G			0,3 to 10 bar (5 to 150 psig)	M		

* Relief valve can be adjusted to pressures in excess of and less than those specified. Do not use these units to control pressures outside of the specified ranges.



Accessories

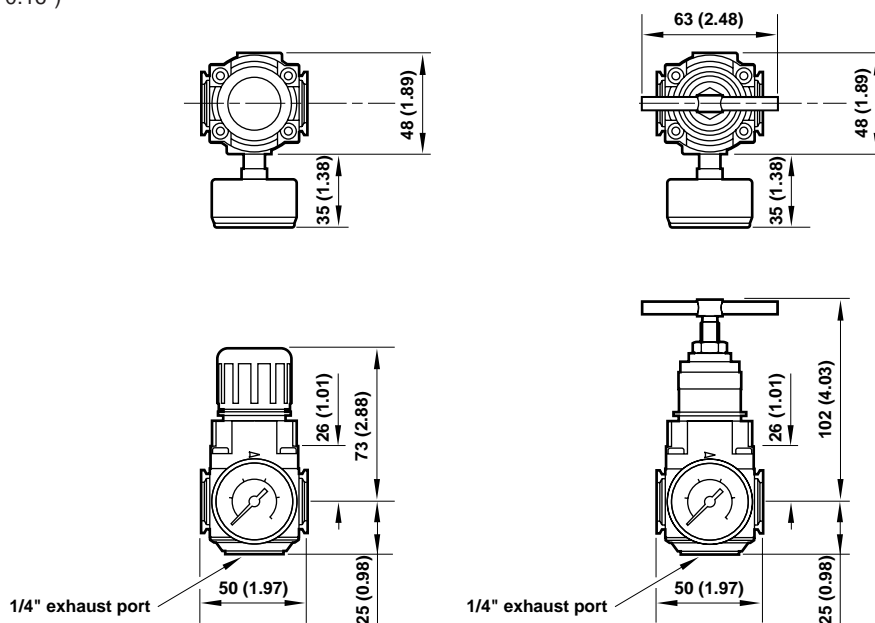
				
Wall Mounting Bracket	Quikclamp and Quikclamp Wall Bracket	Neck Mounting Bracket	Panel Nut	Tamper Resistant Cover and Seal wire
4224-50	4214-52	74316-50	Plastic: 4248-89	4255-51
		Includes plastic panel nut		Seal Wire: 2117-01

		
Ø 40 mm		
Pressure Gauge	R1/8 Connection	1/8 PTF Connection
4 bar (60 psig):	18-013-990	18-013-211
10 bar (150 psig):	18-013-989	18-013-212
25 bar (360 psig):	18-013-908	

Dimensions mm (inches)

Panel mounting hole diameter: 40 mm (1.57")

Panel thickness: 0 to 4 mm (0" to 0.16")

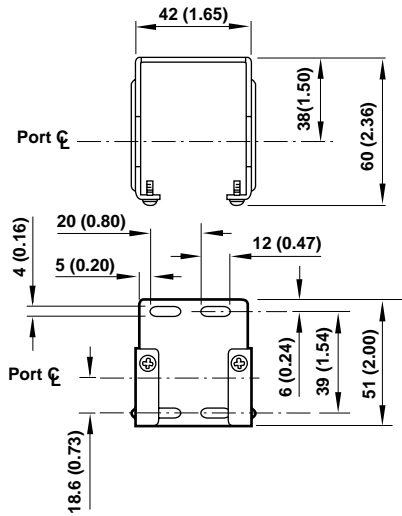




Bracket Mounting

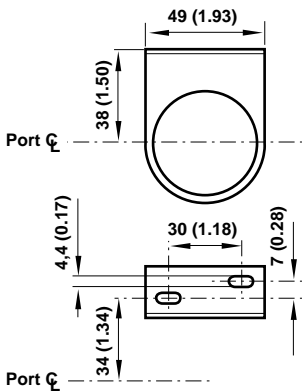
Wall Bracket

Use 4 mm (5/32") screws to mount bracket to wall.



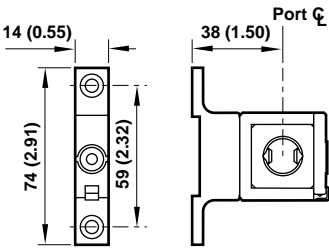
Neck Mounting for B72, R72, V72, includes plastic panel nut

Use 4 mm (5/32") screws to mount bracket to wall.



Quikclamp and Quikclamp Wall Bracket

Use 5 mm (3/16") screws to mount bracket to wall.



Bracket Kit Reference

Item	Part Number
Wall Bracket	4224-50
Neck Mounting Wall Bracket	74316-50
Quikclamp and Quikclamp Wall Bracket	4214-52

Service Kits

Item	Type	Part Number
Service kit	Diaphragm	4209-03

Service kit includes diaphragm assembly and bottom plug o-ring.

Warning

These products are intended for use in industrial compressed air systems only. Do not use these products where pressures and temperatures can exceed those listed under 'Technical Data'. Before using these products with fluids other than those specified, for non-industrial applications, life-support systems, or other applications not within published specifications, consult NORGREN.

Through misuse, age, or malfunction, components used in fluid power systems can fail in various modes. The system designer is warned to consider the failure modes of all component parts used in fluid power systems and to provide adequate safeguards to prevent personal injury or damage to equipment in the event of such failure.

System designers must provide a warning to end users in the system instructional manual if protection against a failure mode cannot be adequately provided.

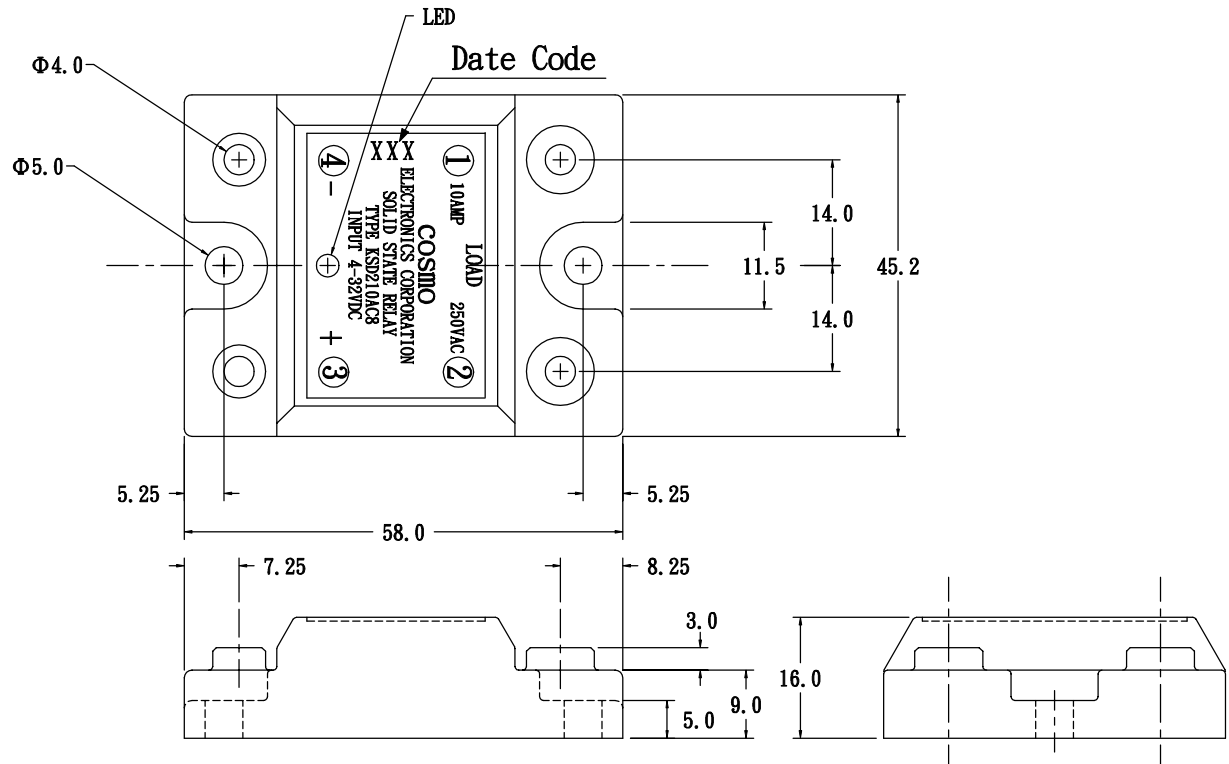
System designers and end users are cautioned to review specific warnings found in instruction sheets packed and shipped with these products.

Water vapor will pass through these units and will condense into liquid if air temperature drops in the downstream system. Install an air dryer if water condensation could have a detrimental effect on the application.

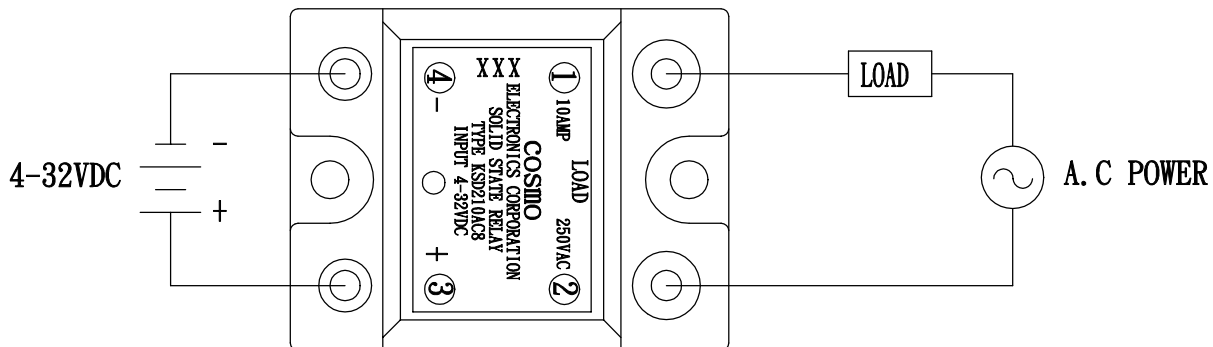
PRODUCT SPECIFICATION

COSMO ELECTRONICS CORPORATION	SOLID STATE RELAY: KSD210AC8	SHEET 1 OF 2
---	---	---------------------

1. OUTSIDE DIMENSION : UNIT (mm)



2. SCHEMATIC : TOP VIEW



PRODUCT SPECIFICATION

COSMO ELECTRONICS CORPORATION	SOLID STATE RELAY: KSD210AC8	SHEET 2 OF 2
---	---	---------------------

3. Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Input signal voltage	V _{IN}	4~32	VDC
	Drop-out voltage	V _{do}	1	VDC
Output	RMS on-state current	I _T	10	Arms
	Peak one cycle surge current (8.3ms)	I _{surge}	100	A
	Repetitive peak-off state voltage	V _{DRM}	600	V
	Operating frequency	f	47~70	Hz
	Critical rate of rise of on-state current	di/dt	50	A/us
	Load supply voltage	V _{out}	250	Vrms AC
Isolation voltage input to output		V _{iso}	4000	Vrms
Operating temperature		T _{opr}	-30~100	°C
Storage temperature		T _{stg}	-30~125	°C
Soldering temperature 10sec		T _{sol}	300	°C

4. Electro-optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter		Symbol	Conditions	MIN	TYP	MAX	Unit
Input	Pick-up voltage	V _{pu}	I _{in} =1Arms			4	VDC
	Input current	I _{in}	V _{in} =4~32V	5		12	mA
Output	On-state voltage	V _T	I _T =1Arms			1.5	Vrms
	Operating current	I _{op}	V _{out} =240Vrms	50			mArms
	Leakage current	I _{leak}	V _{out} =240Vrms		3.5	7	mArms
	Critical rate of rise of off-state voltage	dv/dt		50	200		V/us
	Zero-cross voltage	V _{ox}	I _{in} =7mA			35	VAC
	Load Voltage Rating	V _{out}	I _T =50mArms MIN	50		280	VAC
Minimum trigger current		I _{FT}	V _{DRM} =600V			10	mA
Isolation resistance input to output		R _{iso}	DC500V	10			GΩ
Turn-on time		T _{on}	60Hz AC			8.3	ms
Turn-off time		T _{off}	60Hz AC			8.3	ms
Thermal resistance (between junction and case)		R _{th} (j-c)1			1.3		°C/W

Tylan FC260/FM-360 MFCs and Flowmeters - Ordering Information

Performance

Full Scale (N2 equivalent)	10 sccm – 5 slpm (FC260) 6-20 slpm (FC261) 30-200 slpm (FC262)
Shutdown	2% full scale
Step Response Time	6 sec to within $\pm 2\%$ of setpoint – FC-260 10 sec to within $\pm 2\%$ of setpoint – FC-261 30 sec to within $\pm 2\%$ of setpoint – FC-262
Accuracy	$\pm 1.0\%$ full scale $\pm 2.0\%$ full scale for the FC262
Linearity	$\pm 0.5\%$ full scale $\pm 1.0\%$ full scale for the FC262
Repeatability	$\pm 0.2\%$ full scale
Pressure Coefficient	0.007% per psi (typical)
Temperature Coefficient	0.1% per °C full scale (zero and span)
Attitude Sensitivity	Not sensitive

Mechanical

Valve	normally-open thermal
Materials	316L stainless steel, 446 stainless steel, PFA Teflon®
Elastomers Available	Viton®, Kalrez®, Neoprene
Leak Integrity	1 x 10 ⁻⁹ atm-cc per sec (He) inboard <5% full scale with Teflon poppet (normally-open)
Weight	0.5 Kg (1.1 lb) – FC-260 0.95 Kg (2.1 lb) – FC-261 2.3 Kg (5 lb) – FC-262

Electrical

Supply Voltage	± 12 VDC to ± 18 VDC
Supply Current	150 mA nominal
Power Consumption	4 watts @ ± 15 volts
Input/Output Signal	0-5 VDC

Environmental

Operating Temperature	5 – 50° C (ambient and gas)
Humidity	0 – 95% RH, non-condensing
Maximum Inlet Pressure	11.5 bar (150 psig)
Differential Pressure	Nominal, 0.7 – 2.8 bar (10-40 psid)

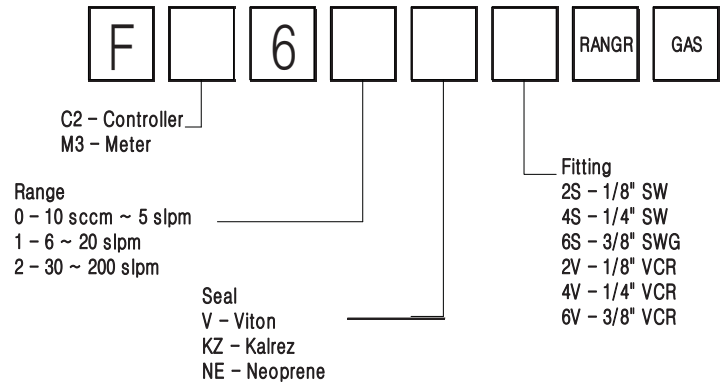
Note: In accordance with SEMI Standard E12-91, Standard Temperature is 0° C and Standard Pressure is 760 mm Hg (14.7 psia).

Electrical Connection

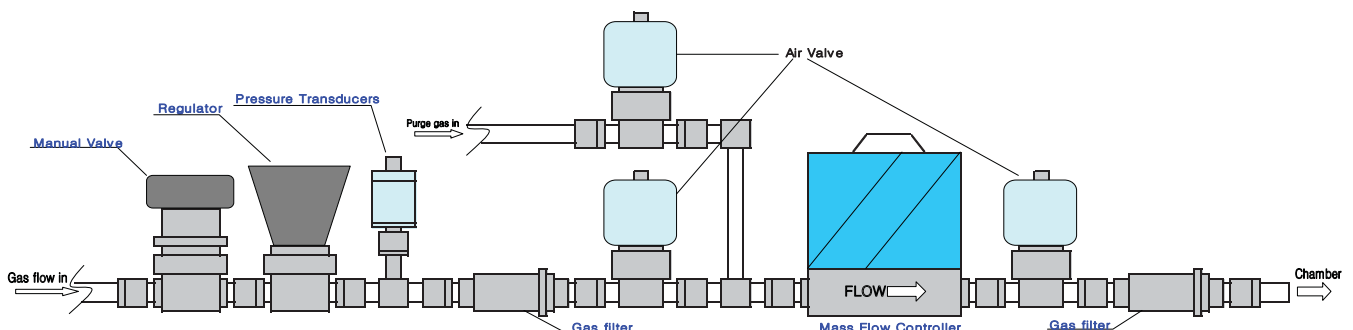
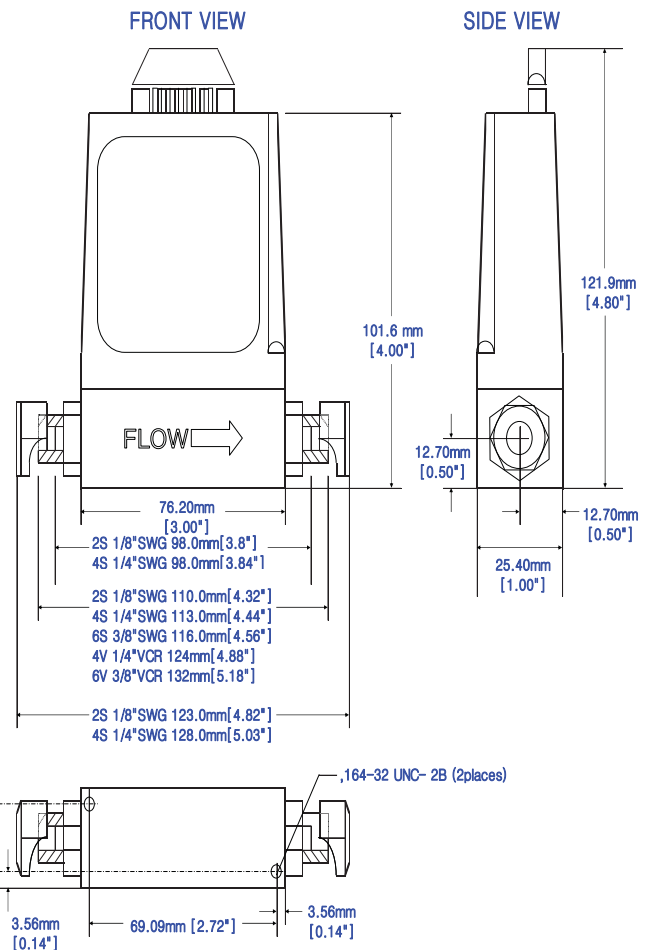
	Card Edge	15-Pin "D"	9-Pin "D"		Card Edge	15-Pin "D"	9-Pin "D"
+15 VDC	4			Az INHIBIT			
COMMON	C			VALVE TEST (± 15 VDC)	D		
-15 VDC	F			VALVE OFF	L		
0-5 V Out	3			OVERRIDE			
COMMON	2			4-20 mA IN			
0-5 V IN	A			4-20mA OUT			
COMMON	8			CASE GND	1		
V REF				VALVE VOLTAGE			
PRESS. IN							
Az STORE				(0-7 VDC)			

Consult our applications specialists with any questions. * Optional Kalrez and Viton are trademarks of DuPont Dow Elastomers, L.L.C. Swagelok is a trademark of Crawford Fitting Company. Teflon is a trademark of E. I. du Pont de Nemours and Company VCO and VCR are trademarks of Cajon Company

FC-260/FM-360 Ordering Information



Dimensions



Pressure Measurement

Transmitters for basic requirements

SITRANS P200 for gauge and absolute pressure

Technical specifications

Application		Design	
Gauge and absolute pressure measurement	Liquids, gases and vapors	Weight	Approx. 0.090 kg (0.198 lb)
Mode of operation		Process connections	See dimension drawings
Measuring principle	Piezo-resistive measuring cell (ceramic diaphragm)	Electrical connections	<ul style="list-style-type: none">• Connector per EN 175301-803-A Form A with cable inlet M16x1.5 or ½-14 NPT or Pg 11• M12 connector• 2 or 3-wire (0.5 mm²) cable (Ø ± 5.4 mm)• Cable quick screw connection
Measured variable	Gauge and absolute pressure		
Inputs			
Measuring range		Wetted parts materials	
<ul style="list-style-type: none">• Gauge pressure<ul style="list-style-type: none">- Metric- US measuring range• Absolute pressure<ul style="list-style-type: none">- Metric- US measuring range	1 ... 60 bar (15 ... 870 psi) 15 ... 1000 psi	<ul style="list-style-type: none">• Measuring cell• Process connection	Al ₂ O ₃ - 96 % Stainless steel, mat. No. 1.4404 (SST 316 L)
	0.6 ... 16 bar a (10 ... 232 psia) 10 ... 300 psia	<ul style="list-style-type: none">• Gasket	<ul style="list-style-type: none">• FPM (Standard)• Neoprene• Perbunan• EPDM
Output		Non-wetted parts materials	
Current signal	4 ... 20 mA	<ul style="list-style-type: none">• Enclosure	Stainless steel, mat. No. 1.4404 (SST 316 L)
<ul style="list-style-type: none">• Load	(U _B - 10 V) / 0.02 A	<ul style="list-style-type: none">• Rack• Cables	Plastic PVC
<ul style="list-style-type: none">• Auxiliary power U_B	DC 7 ... 33 V (10 ... 30 V for Ex)	Certificates and approvals	
Voltage signal	0 ... 10 V DC	Classification according to pressure equipment directive (PED 97/23/EC)	For gases of fluid group 1 and liquids of fluid group 1; complies with requirements of article 3, paragraph 3 (sound engineering practice)
<ul style="list-style-type: none">• Load	≥ 10 kΩ	Lloyds Register of Shipping (LR)	Applied
<ul style="list-style-type: none">• Auxiliary power U_B	12 ... 33 V DC	Germanischer Lloyds Register of Shipping (GL)	Applied
<ul style="list-style-type: none">• Power consumption	< 7 mA at 10 kΩ	American Bureau of Shipping (ABS)	Applied
Characteristic curve	Linear rising	Bureau Veritas (BV)	Applied
Measuring accuracy		Det Norske Veritas (DNV)	Applied
Error in measurement at limit setting incl. hysteresis and reproducibility	<ul style="list-style-type: none">• Typical: 0.25 % of full-scale value• Maximum: 0.5 % of full-scale value	Drinking water approval (ACS)	Applied
Step response time T ₉₉	< 5 ms	GOST	Applied
Long-term stability		Explosion protection	
<ul style="list-style-type: none">• Lower range value and measuring span	0.25 % of full-scale value/year	Intrinsic safety "i" (only with current output)	Ex II 1/2 G Ex ia IIC T4 Ga/Gb Ex II 1/2 D Ex ia IIIC T125 °C Da/Db
Influence of ambient temperature		EC type-examination certificate	SEV 10 ATEX 0146
<ul style="list-style-type: none">• Lower range value and measuring span	0.25 %/10 K of full-scale value	Connection to certified intrinsically-safe resistive circuits with maximum values:	U _i ≤ 30 V DC; I _i ≤ 100 mA; P _i ≤ 0.75 W
<ul style="list-style-type: none">• Influence of power supply	0.005 %/V	Effective internal inductance and capacity for versions with plugs per EN 175301-803-A and M12	L _i = 0 nH; C _i = 0 nF
Conditions of use			
Process temperature with gasket made of:			
<ul style="list-style-type: none">• FPM (Standard)• Neoprene• Perbunan• EPDM	-15 ... +125 °C (+5 ... +257 °F) -35 ... +100 °C (-31 ... +212 °F) -20 ... +100 °C (-4 ... +212 °F) -40 ... +145 °C (-40 ... +293 °F), usable for drinking water		
Ambient temperature	-25 ... +85 °C (-13 ... +185 °F)		
Storage temperature	-50 ... +100 °C (-58 ... +212 °F)		
Degree of protection (to EN 60529)	<ul style="list-style-type: none">• IP 65 with connector per EN 175301-803-A• IP 67 with M12 connector• IP 67 with cable• IP 67 with cable quick screw connection		
Electromagnetic compatibility	<ul style="list-style-type: none">• acc. EN 61326-1/-2/-3• acc. NAMUR NE21, only for ATEX versions and with a max. measuring deviation ≤ 1 %		



Main features

- Robust stainless housing for harsh environment conditions
- Abrasive and chemical resistant due to ceramic measurement cell
- External programming of zero point and span with FlexProgrammer 9701

Applications

- Pneumatic
- Medical gas
- Factory automation
- HVAC
- Agriculture vehicles
- Energy

Technical specifications

Measuring principle	Thick film on ceramic
Measuring ranges	-1 ... 0 bar up to 0 ... 600 bar
Type of pressure	Relative / Absolute
Accuracy (20 °C) (includes linearity, hysteresis, repeatability, error of span and zero point according limit point adjustment)	≤ 0.7% FS ≤ 0.5% FS
Turn down	2:1
Performance after Turn down	[Turn-Down] * [Accuracy] FS
Zero thermal drift	≤ ± 0.08% FS/10 K
Span thermal drift	≤ ± 0.08% FS/10 K
Long term stability	0.2% FS / Year
Response time (10 ... 90%)	≤ 5 ms
Process connections	See page 3

Environment

Temperature	
Storage	-40 ... + 100°C
Compensated range	-20 ... + 60°C
Medium	
NBR	-30 ... + 100°C
EPDM	-40 ... + 125°C
FKM (Viton®)	-20 ... + 125°C
Ambient	-20 ... + 85°C
Protection rating	IP65 (EN 60529) up to IP67 depending on electrical connection
Vibration IEC60068-2-6	1.5 mm p-p (10 – 55 Hz), 10 g (55 Hz – 2 KHz) 3 cycles within 2.5 h per axis

Shock IEC60068-2-27	50 g/11 ms 100 g/6 ms 3 x Imp. per Axis and direction
Bump IEC60068-2-27	100 g/2 ms 4000 x Imp. per axis and direction
Random IEC60068-2-64	0.1 g ² /Hz (20 Hz – 1 KHz) 30 min per axis (>10 g RMS)

Electrical specification

Output signal / Power supply	4 ... 20 mA / 8 ... 32 VDC 0...10 V / 13 ... 32 VDC
Load impedance	
Current output	$R_D = (U_{supply} - 8 V) / 20 mA$
Voltage output	> 5 KΩ
Insulation resistance	>100 MΩ at 500 VDC
Electrical connections	See page 3

Material

Process connection	SS 1.4404 AISI 316L
Housing	SS 1.4301 AISI 304
Diaphragm	Ceramic (96% Al ₂ O ₃)
Sealing	NBR, EPDM, FKM (Viton®)
Cable	PUR

Approvals

CE conformity	EMC directive 2004/108/CE in accordance with EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61326-1 (Tab.2) Pressure directive 97/23/CE
---------------	--

Measuring ranges and overpressure safety

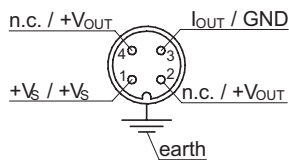
Pressure in bar							
Pressure range	-1 ... 0	-1 ... 1.5	-1 ... 3	-1 ... 5	-1 ... 9	-1 ... 15	-1 ... 24
	-1 ... 0.6	0 ... 2.5	0 ... 4	0 ... 6	0 ... 10	0 ... 16	0 ... 25
	0 ... 1						
	0 ... 1.6						
Over pressure	2	4	8	12	20	32	50
Burst pressure	3	7	12	18	30	48	75

Pressure in bar							
Pressure range	-1 ... 39	0 ... 60	0 ... 100	0 ... 160	0 ... 250	0 ... 400	0 ... 600
	0 ... 40						
Over pressure	80	120	200	320	360	600	800
Burst pressure	120	180	300	480	480	800	1000

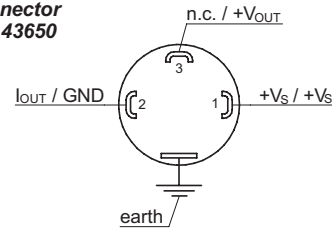
Electrical connections

Signal at 4...20 mA / Signal at 0...10V

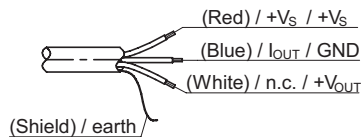
M12 4-pins



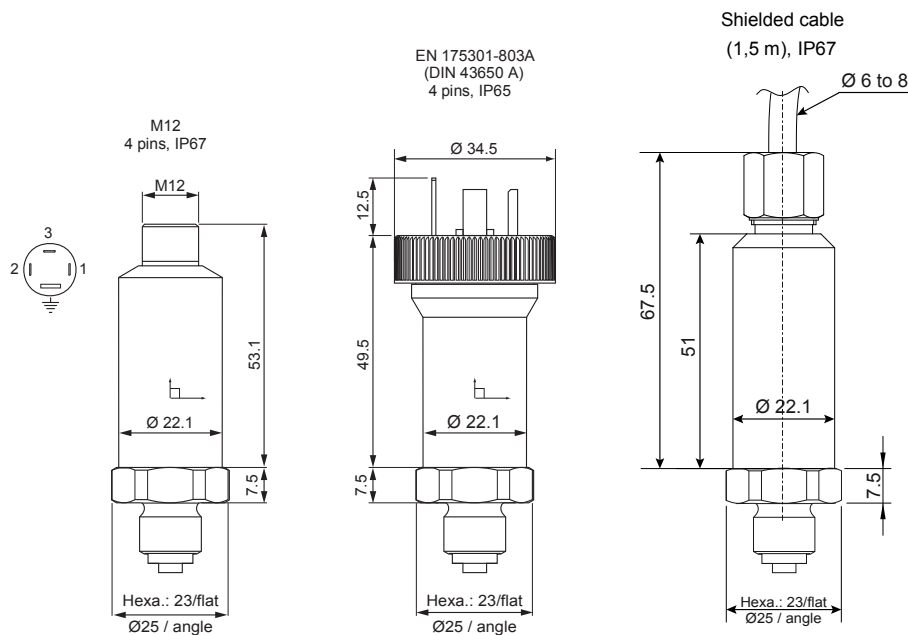
Connector DIN 43650



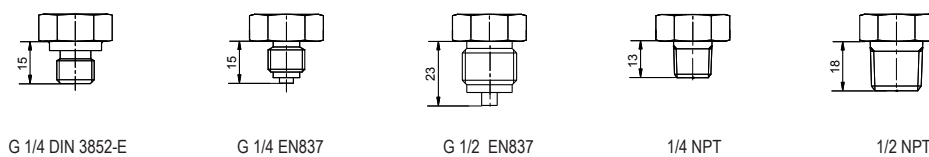
Cable output



Dimensions (mm)



Hydraulic connections



Ordering details PBSN

	PBSN	-	1	.	x	.	xxx	.	x	.	xx	.	xx	.	xx	.	x	.	x
Model																			
Pressure transmitter	PBSN																		
		-																	
Housing material																			
Stainless steel 1.4301 AISI 304			1																
Accuracy																			
0.7% FS							2												
0.5% FS			P > 1 bar				3												
Pressure range and unit in bar																			
-1...0	Only pressure type relative						B59												
-1...0.6	Only pressure type relative						B72												
-1...1.5	Only pressure type relative						B74												
-1...3	Only pressure type relative						B76												
-1...5	Only pressure type relative						B77												
-1...9	Only pressure type relative						B79												
-1...15	Only pressure type relative						B81												
-1...24	Only pressure type relative						B82												
-1...39	Only pressure type relative						B1L												
0...1							B15												
0...1.6							B16												
0...2.5							B18												
0...4							B19												
0...6							B20												
0...10							B22												
0...16							B24												
0...25							B26												
0...40							B27												
0...60							B29												
0...100							B31												
0...160							B33												
0...250							B35												
0...400							B38												
0...600							B39												
Kind of pressure																			
Absolute									A										
Relative									R										
Output signal																			
4...20mA													A1						
0...10V													A2						
Output connection																			
M12, 4 pins																14			
DIN 43650, 4 pins																44			
Shielded cable (1.5 m)																53			
Process connection																			
G¼ EN 837																	02		
G½ EN 837																	03		
¼ NPT																	04		
½ NPT																	05		
G¼ DIN 3852																	06		
Process connection material																			
Stainless steel 1.4404 AISI 316L																	2		
Sealing																			
NBR																		1	
EPDM																		2	
FKM (Viton®)																		3	

Modelle mit Einfachausgang

Bestellnummer	Gehäuseausführung	Ausgangsleistung max.	Ausgangsspannung nom.	Ausgangsstrom max.
TXL 060-3.3S TXL 060-05S TXL 070-12S TXL 070-15S TXL 070-24S TXL 070-48S	E	60 / 70 Watt	3.3 VDC 5 VDC 12 VDC 15 VDC 24 VDC 48 VDC	15.0 A 12.0 A 6.0 A 4.8 A 3.0 A 1.5 A
TXL 100-3.3S TXL 100-05S TXL 100-12S TXL 100-15S TXL 100-24S TXL 100-48S	J	100 Watt	3.3 VDC 5 VDC 12 VDC 15 VDC 24 VDC 48 VDC	23.0 A 20.0 A 8.5 A 7.0 A 4.3 A 2.3 A
TXL 150-05S TXL 150-12S TXL 150-24S TXL 150-48S	L	150 Watt	5 VDC 12 VDC 24 VDC 48 VDC	30.0 A 12.5 A 6.3 A 3.2 A
TXL 230-12S TXL 230-24S TXL 230-48S	N	230 Watt	12 VDC 24 VDC 48 VDC	19.2 A 9.6 A 4.8 A
TXL 350-24S TXL 350-48S	O	350 Watt	24 VDC 48 VDC	14.7 A 7.5 A
TXL 750-24S TXL 750-48S	P	750 Watt	24 VDC 48 VDC	31.3 A 15.8 A
TXL 1000-24S TXL 1000-48S	Q	1000 Watt	24 VDC 48 VDC	40.0 A 21.0 A

Modelle mit Mehrfachausgang

Bestellnummer	Gehäuseausführung	Ausgangsleistung	*Ausgang 1 (Hauptausgang)	*Ausgang 2	*Ausgang 3
TXL 035-0512D TXL 035-0524D TXL 035-1212D TXL 035-1515D	D	35 Watt	+5 VDC/ 4.0 A +5 VDC/ 4.0 A +12 VDC/ 3.0 A +15 VDC/ 2.4 A	+12 VDC/ 2.5 A +24 VDC/ 1.3 A -12 VDC/ 1.5 A -15 VDC/ 1.5 A	
TXL 060-0512DI TXL 060-0524DI TXL 060-0521TI TXL 060-0522TI TXL 060-0533TI TXL 060-0534TI	E	60 Watt	5 VDC/ 8.0 A 5 VDC/ 6.0 A 5 VDC/ 8.0 A 5 VDC/ 7.0 A 5 VDC/ 7.0 A 5 VDC/ 6.0 A	12 VDC/ 4.0 A 24 VDC/ 2.2 A 12 VDC/ 3.5 A 12 VDC/ 3.5 A 15 VDC/ 3.0 A 12 VDC/ 1.5 A	-5 VDC/ 1.0 A -12 VDC/ 1.0 A -15 VDC/ 1.0 A 24 VDC/ 1.2 A
TXL 100-0512DI TXL 100-0524DI TXL 100-0521TI TXL 100-0522TI TXL 100-0533TI TXL 100-0534TI	J	100 Watt	5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A 5 VDC/ 12.0 A	12 VDC/ 7.0 A 24 VDC/ 3.5 A 12 VDC/ 5.0 A 12 VDC/ 5.0 A 15 VDC/ 4.0 A 12 VDC/ 4.0 A	5 VDC/ 1.5 A 12 VDC/ 1.5 A 15 VDC/ 1.5 A 24 VDC/ 2.0 A

*Die max. spezifizierte Ausgangsleistung darf nicht überschritten werden.